



Centro de Estudios
Aeronáuticos



UNIVERSIDAD · ECCI

CERTIFICADA POR:

A white commercial airplane is shown flying from the bottom left towards the top right, leaving a white contrail against a blue sky with light rays.

La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país

A large array of blue solar panels is installed in a green field under a clear blue sky. The panels are tilted towards the sun.

Primera Edición

Título Original. La Investigación y el Desarrollo Tecnológico
en los sectores productivos del país
ISBN. 978-958-8817-34-7

Tipo de contenido. Ciencia y Tecnología
Clasificación. Tecnología, ingeniería, agricultura K - Economía,
Finanzas, empresa y gestión

Primera Edición 2019
30/12/2019
Bogotá D.C Colombia.
Editorial ECCI.

Está permitido la reproducción total o parcial de los capítulos que hacen parte de este libro, producto de investigaciones, para fines académicos e investigativos siempre y cuando se haga la respectiva cita, referencia a los autores e instituciones Centro de Estudios Aeronáuticos y Universidad ECCI. Por su parte, en caso de querer reproducir este libro por cualquier medio sin el permiso escrito de los autores y la editorial ECCI.

AUTORES COMPILADORES

Martínez Lobo, Alicia del Pilar
Flórez Parra, Jesús Mauricio
Agredo Satizábal, Fredy
CEA, Centro de Estudios Aeronáuticos
Universidad ECCI

Diciembre 2019

Comité Evaluador

- Ing. Juan D. Ocampo. PhD in Mechanical Engineering
St. Mary's University. San Antonio, TX, USA.
- Juan D. Ocampo. PhD in Mechanical Engineering.
- Juan Carlos Correa Nuñez. PhD University of Economics, Prague, Czechia.
- Miller Rivera Lozano. Ph.D en Educación y Sociedad. Universidad de la Salle, Bogotá.
- Jaime Alberto Paez Magister. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Richard Fajardo Vergara. Magister en Relaciones Internacionales. Universidad Cundinamarca.
- Carlos Julio Escobar. Magister en Docencia e investigación Universitaria.
- Patricia Cadena Caicedo Magister en Docencia e investigación Universitaria.
- Fabio Orlando Cruz Páez. Magister en Administración de Organizaciones.

CONTENIDO

SECCIÓN I: INVESTIGACIÓN Y SECTORES PRODUCTIVOS 7

Prólogo 8

CAPÍTULO 1. Modelo de desarrollo de la Industria Aeronáutica Colombiana. 10

Miguel Alberto Vallejo Mera, Edna Cristina Sánchez González, Alicia del Pilar Martínez,

CAPÍTULO 2. Impacto de los programas MAELA, MACMA, MAESO Y MADGSI desde la investigación en la sociedad y el sector productivo aeronáutico militar 28

Alicia del Pilar Martínez Lobo, Bernardo Steven Martínez Romero

CAPÍTULO 3. Caracterización del clúster aeronáutico colombiano- caso clúster aeroespacial colombiano CAESCOL. 60

Jeimmy Nataly Buitrago Leiva. Álvaro Fernando Moncada Niño, Julio Rodríguez Pirateque

CAPÍTULO 4. Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico para el aeropuerto José María Córdova de Rionegro.100

José David Gómez Gil; Diego Estiven Hurtado Meneses; Angie Tatiana Preciado Mosos, Edgar Leonardo Gómez Gómez.

CAPÍTULO 5. Estructura metodológica para el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan la aviación.129

Ingrid Tatiana Sierra Giraldo, Nayibe Moreno Bernal, Richard Barrera, Alicia del Pilar Martínez Lobo.

CAPÍTULO 6. Importancia de la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en el contexto educativo y empresarial.195

Ferley Augusto Sánchez Calderón, Fredy Agredo Satizábal, Jairo Jamith Palacios Rozo.

CAPITULO 7. Estrategias de formación en investigación en el Centro de Estudios Aeronáuticos (CEA). Una apuesta académica para forjar una cultura de la investigación.

María del Pilar García-Chitiva

.....210

CAPITULO 8. Revisión documental de las políticas educativas en Colombia.

Oro de Ofir García González

.....224

CAPITULO 9. Desarrollo económico y competitivo en el sector agrícola de la India y Colombia. Un análisis comparativo.

Campo Elías López Rodríguez, Diana Paola Grisales Franco, Yuranis Marengo-González, Angie Vanessa Peña Carrillo, Ricardo Sneider Sastoque Rodríguez

.....244

CAPITULO 10. Caracterización de la fibra del plátano obtenida del pseudotallo del Municipio Cabuyaro Meta – Colombia.

Eric Daniel Moreno, María Alexandra Pedreros Bernal

.....264

SECCIÓN II: AVANCES DESARROLLO E INNOVACIÓN DEL SECTOR AERONÁUTICO Y MILITAR

.....276

Prólogo

.....277

Artículo 1. Instrumentación y control del banco de pruebas de motores de combustión interna de la Universidad de San Buenaventura.

Cesar Alberto García Ortiz, Isabella Ferreira, Laura Vanessa Torres, Bryan Bastidas, Harold Julián Acosta,

.....279

Artículo 2. Experiencia de aula, estudio de caso, logística aeronáutica. Ubicación de instalaciones.

Bernardo Steven Martínez Romero

.....287

Artículo 3. Puesta a punto y análisis operativo de aeronaves no tripuladas de ala fija y ala rotatoria para aplicaciones en medición de gases, toma de datos espaciales y espectrales sobre la troposfera baja.

Camilo Enrique León Wilches, Daniel Fernando Chaves Jota, Nicolás Ernesto Guttmann López, Juan Francisco Rueda Orozco, Pedro Luis Jiménez Soler

.....294

Artículo 4. Algoritmos computacionales para órbitas de transferencia con asistencia gravitacional.309
<i>Edward Andrés Gil González, Jorge Luis Nisperuza Toledo, Gabriel Eduardo Teherán Pérez.</i>	
Artículo 5. Uso de Safety Assessment Aviation para la selección de pilotos en la Fuerza Aérea Colombiana.312
<i>Alexander Díaz, María Alejandra Corzo</i>	
Artículo 6. Diseño y caracterización de un dispositivo de adquisición de datos de vuelo para el cohete USB - Rocket I.319
<i>Germán Reyes R. Luis Á. Hernández C., J. Alejandro Urrego P., Luisa F. Mónico M.</i>	
Artículo 7. Experimental study of 2024-t3 al alloy welding using traditional tig-hf process.329
<i>David Ramirez Vargas.</i>	
Artículo 8. Fabricación y certificación de aeronaves de fumigación de alta precisión (AFAP), y articulación de tecnologías 4.0 como modelo dinamizador de la industria aeroespacial colombiana337
<i>Toshiro Núñez Torres, Sebastián Morales Gómez, Sebastián Arteaga Medina.</i>	
Artículo 9. Uso de SAFETY ASSESSMENT AVIATION para la selección de pilotos en la Fuerza Aérea Colombiana.347
<i>Pedro Fernando Melo D.</i>	
Artículo 10. Uso de datos para conectar aeropuertos, aerolíneas y autoridades de aviación para beneficio de los pasajeros.353
<i>Clyde Hutchinson, Federico Mejia.</i>	
Artículo 11. Caracterización del clúster aeronáutico colombiano- caso clúster aeroespacial colombiano. Rionegro- Antioquia.357
<i>Jeimmy Nataly Buitrago Leiva, Álvaro Fernando Moncada Niño</i>	
Artículo 12. El Facsat-1 Plan Piloto para incursionar en el desarrollo espacial en la FAC.368
<i>José Martinez.</i>	

/// SECCIÓN I

INVESTIGACIÓN Y SECTORES PRODUCTIVOS

Como citar esta Sección I.

Autor (s) del Capítulo. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos
Título del Capítulo. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCL. Bogotá D.C: Editorial ECCL.

Prólogo

Cada vez más, en el contexto colombiano se vienen articulando grandes esfuerzos para dar a conocer las investigaciones, los formatos más empleados para ello son los congresos, artículos científicos indexados en revistas de reconocido prestigio o bien libros que ayudan a difundir los avances que se están desarrollando en los diversos campos del conocimiento. De esta forma, el poder contar con sinergias de orden académico que garantizan alianzas estratégicas como es el hermanamiento del Centro de Estudios Aeronáuticos CEA y la Universidad ECCL, refleja el interés, la cooperación y el esfuerzo de dos grandes instituciones por garantizar los espacios para divulgar los avances y/o desarrollos que se están llevando a cabo en las universidades.

En este libro se estudian diversas aplicaciones donde explica en buena parte el rol que viene asumiendo el campo aeronáutico y militar en el sector productivo colombiano, la apuesta por el desarrollo aeroespacial e incluso la implementación de fuentes energéticas alternativas como la fotovoltaica aplicada a estudios de casos concretos, son un referente. Igualmente, no podemos dejar de mencionar la importancia de los desarrollos alcanzados en los bancos de pruebas para los motores de combustión y el análisis de las aeronaves no tripuladas. Otro aporte de este sector es el interés por la formación de alto nivel y la articulación de la educación con la industria. Por otra parte, el avance en sectores como la agricultura y el desarrollo de la moda con insumos naturales, son también investigaciones que aportan a la producción del país.

Llama la atención, en el desarrollo de las investigaciones, los procesos metodológicos empleados en los diversos artículos, no solo los de revisión de la literatura, los clústeres o los análisis de algoritmos computacionales. Sino también, los instrumentos -encuestas- empleados para el análisis de los diversos fenómenos.

Quiero destacar por una parte el esfuerzo de los autores por brindar la posi-

bilidad de darnos a conocer los adelantos y el estado actual en el que se encuentran algunas de las temáticas tratadas en este libro, lo cual, nos pone de manifiesto que son muchos los campos de estudio a analizar y el dar respuesta a las necesidades de determinados sectores evidencian la necesidad de seguir apoyando la investigación en Colombia.

El construir una sociedad basada en el conocimiento garantiza un cambio de paradigma en Colombia, lo que muchos investigadores quizás deseamos, investigación enfocada a las necesidades de los sectores estratégicos colombianos, no es fácil creer que la investigación pueda garantizar dichos cambios, pero algunos estamos convencidos de ello.

Por último, quiero resaltar y estoy seguro que este libro contribuye por un lado a futuros autores a seguir sus pautas y tomarlo como referente y, por otro lado, el poder generar transferencia del conocimiento que garantiza nuevas líneas de investigación constituyéndose así en una esperanza para el sector productivo colombiano.

Jesús Mauricio Flórez Parra

Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales

Profesor Ayudante Doctor de la Universidad de Granada-España




CAPITULO 1

MODELO DE DESARROLLO DE LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA

Como citar esta Sección I.

Vallejo, M, Sánchez, E. Martínez A. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos. Modelo de Desarrollo de la Industria Aeronáutica Colombiana. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.



MODELO DE DESARROLLO DE LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA

Miguel Alberto Vallejo Mera, S&G Soluciones y Gestión, Bogotá
Edna Cristina Sánchez González, S&G Soluciones y Gestión, Bogotá
Alicia del Pilar Martínez, Bogotá

Resumen

El presente artículo expone el contexto, antecedentes, los avances y retos de la Industria Aeronáutica Colombiana, en su búsqueda por lograr el equilibrio entre la rentabilidad, la sostenibilidad y la integración, desde las experiencias desarrolladas a nivel internacional.

Por lo tanto ha considerado el estudio y análisis de aspectos y elementos claves en el entorno inicial de desarrollo de proveedores en la Industria Aeronáutica Colombiana, identificando las brechas existentes y los elementos de intervención que fortalezcan la competitividad y visibilidad a nivel internacional y que generen un modelo para la aceleración de las Organizaciones que pretendan incursionar en el diseño, fabricación y comercialización de partes aeronáuticas.

Palabras Claves

Certificación, Clústers, Encadenamiento, Integración, Articulación, Modelo.

Contexto del Sector Aeronáutico

El Sector Aeronáutico es una Industria con un alto potencial de desarrollo, lo que constituye una oportunidad para la creación y fortalecimiento de capacidades que permitan a las Compañías Colombianas, ser competitivas a nivel internacional.

Lo anterior se sustenta en la demanda creciente de la industria a nivel internacional, lo cual no es consistente con la cantidad de proveedores que tengan el grado de alistamiento requerido para suplir las necesidades y poder así integrarse en la cadena de proveeduría.

Las brechas existentes en la Industria Aeronáutica Colombiana, se encuentran marcadas de manera generalizada, por la falta de generación de iniciativas de fortalecimiento tecnológico y de proyectos de innovación para el sector aeronáutico, debido a la alta inversión requerida y es aquí en donde la participación de todos los actores (Academia,

Organizaciones, Estado y Sociedad), son fundamentales para la promoción de proyectos incluyentes, enfocados en un modelo o red de integración.

Es por esto, que lograr una asociación efectiva de empresas permitiría sumar capacidades y mitigar riesgos, en la ejecución de proyectos de manera conjunta; logrando consolidar resultados efectivos, que redunden en la visibilidad y competitividad a nivel internacional.

Por lo tanto establecer un modelo de Integración, requiere de igual forma la definición de responsabilidades tanto de las empresas del sector aeronáutico, los líderes de las instituciones gubernamentales, de otras organizaciones privadas interesadas en su agrupación, para lograr la efectiva gestión del ecosistema (articulación, representación y promoción).

Antecedentes del Sector Aeronáutico en Colombia

Desde los inicios de la Aviación en Colombia se puede tomar como referencia el año 1919, en donde la Alianza Colombo – Alemana SCADTA creó la primera empresa de transporte aéreo en Colombia.

Éste inicio genera la necesidad del desarrollo de instalaciones aeroportuarias y la promoción del uso de aeronaves para el transporte en Colombia, principalmente en servicios como: transporte de pasajeros, correo aéreo y servicio de aerofotografía; lo que conllevó a crear un componente económico nuevo en el País, basado en el Sector Aeronáutico.

Posteriormente en el año 1932 al suscitarse el conflicto con Perú, se hizo visible el entrenamiento y la capacidad de los pilotos y mecánicos de la Fuerza Aérea Colombiana, durante los nueve (9) meses de enfrentamiento armado, en el cual Colombia con la superioridad aérea demostrada, salió victorioso de dicho conflicto.

Por su parte, en la Década de los años 50's y 60's, en Suramérica hubo un inesperado crecimiento de la aviación "civil general", permitiendo así a la Industria aeronáutica en Colombia, desarrollar el liderazgo y la visibilidad regional, con el liderazgo de dos visionarios en el sector como lo fueron: James Leaver y Antonio Urdaneta, quienes como parte de un convenio desarrollaron los primeros ensamblajes de aeronaves Piper y Cessna, en el aeródromo de Guaymaral y aprovechando alianzas comerciales de Colombia con países de la región denominado "Pacto Andino", se realizaron exportaciones hacia países como Venezuela, Chile, Perú y Bolivia. Para ese momento de la historia, esa oportunidad consolidada generó transferencia de conocimiento y promovió que la Ingeniería y la mano de obra Colombiana evolucionara de prestar servicios de soporte para mantenimiento de aeronaves, a procesos más complejos enmarcados en la manufactura de fuselajes, estructuras, soportes de motor, trenes de aterrizaje e interiores de aeronaves como: sillas, puertas, cableados y acabados finales; en complemento también se fabricaban los

los moldes o plantillas para garantizar la fabricación en serie y la precisión en la manufactura de las partes, también se elaboraban las herramientas especiales requeridas en el proceso. En éste lapso de desarrollo de industria y de fabricación de aviones, se logró incorporar hasta un 60% de componentes totalmente fabricados en Colombia. Éste modelo de ensamblaje colombiano fue el primero a nivel mundial en su género.

Para el año 1987, entre AeroLeaver y Aviones de Colombia, se habían ensamblado alrededor de 1500 aeronaves, con un alto componente de manufactura colombiana, las aeronaves fabricadas se orientaban a funciones agrícolas, entrenamiento y aerofotografía, se exportaban a países de la región como Venezuela, Perú Ecuador y algunas fueron exportadas fuera del continente hacia Sudáfrica.

Para la Época de los años 90, debido a la crisis de los fabricantes Cessna y Piper, AeroLeaver con la participación de Eric Leaver (ingeniero aeronáutico nacido en Bogotá y formado en Inglaterra), consolidaron el proyecto Gavilán, el cual fue concebido mediante la identificación de la necesidad de una aeronave utilitaria y competitiva para desempeñarse en el territorio colombiano, que cumpliera con características esenciales para el entorno, como facilidad para el soporte y mantenimiento, así como tecnología avanzada y de innovación para el momento.

De otra parte, Aviones de Colombia, en cabeza de su gerente Rafael Urdaneta, desarrolló un modelo para fumigación agrícola, el cual fue denominado "Pijao"; para éste momento se anunciaba la capacidad de fabricar al año en su línea de producción, un total de 90 aviones por año; lo que generó grandes expectativas y visualizaba un prometedor desarrollo de la Industria Aeronáutica en Colombia.

A pesar de la evolución que se dio en Colombia en el Sector Aeronáutico, aún no se ha logrado consolidar con resultados efectivos una estructura de Industria sostenible y sustentable, que permita encadenarse con mercados internacionales en la Cadena de Valor.

Necesidad de Desarrollar Proveedores

Teniendo en cuenta el contexto y Antecedentes de la Industria Aeronáutica en Colombia y con el objetivo de aportar en el Fortalecimiento de la misma, se llevó a cabo un trabajo de revisión y análisis del estatus y proyección a través de la muestra de 10 Organizaciones a nivel nacional en la clasificación de 5 áreas de proceso así: metalmecánicos (4 empresas), termoplásticos (1 empresa), diseño y desarrollo - software (2 empresas), laboratorios - pruebas y ensayos: (2 empresas) y textiles (1 empresa).



Figura 1. Procesos analizados. Cantidad de empresas y procesos que hacen parte del estudio.

Lo anterior considerando las capacidades actualmente existentes en la Industria para el desarrollo de productos y procesos aeronáuticos que se han creado, con base en las necesidades de compradores locales.

Metodología Desarrollada

Para el desarrollo del análisis se tuvo en cuenta una investigación de participación activa, descriptiva con metodología comparada, tomando de manera inicial el contexto y modelos de referencia desarrollados en el entorno local e internacional, como se visualiza en las imágenes a continuación (figura 1 y figura 2):



ENTORNO LOCAL



Figura 2. Referencia Entorno Internacional. Modelos de desarrollo a nivel internacional

Figura 3. Referencia Entorno Local. Antecedentes de la Industria Local.

En consideración de lo anterior, se diseñó un instrumento de toma de información en campo, compuesto principalmente bajo la revisión de aspectos y elementos claves, como mínimos requeridos en un contexto de desarrollo de proveedores así:



Figura 4. Componentes analizados. Componentes objeto de revisión y análisis.

Acciones adelantadas en el desarrollo de la metodología

En el proceso de Análisis y toma de información en Campo con las Organizaciones que hicieron parte del plan piloto objeto de estudio, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- a) Reunión de apertura y socialización del proyecto, en donde las Empresas conocieron el contexto del mismo, propósito e importancia de iniciar con el alistamiento de la industria aeronáutica a nivel general en Colombia.
- b) Reconocimiento inicial de la Organización: Se lleva a cabo recorrido por las instalaciones de las empresas (área administrativa y Operativa), identificando aspectos claves y capacidades desarrolladas.
- c) Identificación y toma de información: Se aplica formato de toma de información con la descripción de los ítems que hacen parte para análisis y consolidación de resultados.
- d) Charla con aspectos claves en procesos de calidad aeronáutica y potencial de la Industria a Nivel Internacional.

En dichas actividades se logró despertar el interés de participación de las empresas en un proyecto incluyente y con potencial de desarrollo para el país.

Análisis y Consolidación de resultados – Análisis de Contexto

Finalizado el trabajo de campo y de recolección de la información con las Organizaciones que hacen parte del plan piloto, se llevó a cabo el análisis de las características de los modelos de referencia del entorno local e internacional mencionado en la metodología, con lo cual se logró obtener un análisis situacional, de contexto y de proyección de modelo de desarrollo.

Por lo tanto, tomemos en consideración las características de los modelos de referencia desarrollados en el entorno local e internacional, como se menciona en el libro *Prospección Tecnológica para el Sector Aeronáutico con potencial exportador en el Suroccidente Colombiano*, del Autor Diego Fernando Morantes Granobles y Ricardo Javier Paredes Muñoz:

- **Red Aeronáutica Madrid:**

Conformada por EADS CASA, AISA, ITP, INDRA, Airbus España, Tecnobi, Iberia Mantenimiento, CESA, ARIEX, SENER y otras sociedades de la industria. Entre las principales características que se pueden mencionar son:

- a) Apoyo institucional: Inversión del estado, Apoyos para proyectos en investigación, Desarrollo del Área Tecnológica del Sur en Getafe. Parque científico y tecnológico. 490.000 m² para las empresas del sector.
- b) Creación Fundación para la Investigación, desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos y Centro de excelencia para desarrollo de proyectos en aeroespacial. Getafe.
- c) Apoyos financieros para la Innovación.
- d) Oferta de Proveedores Madrid cuenta con el 65% de las empresas proveedoras del sector.

- **Asociación de Industrias Aeroespaciales (EMBRAER y RED AIAB) :**

Constituida en 1941, con el ministerio de la Aeronáutica. Se generó un modelo de desarrollo basado en mantener una masa crítica de científicos dedicados al desarrollo y adquisición de conocimientos de tecnología aeronáutica. Entre las principales características que se pueden mencionar son:

- a) Apoyo institucional: sociedad mixta de capital abierto vinculada al ministerio de la aeronáutica. Ahora es de capital privado con inversiones de SAAB y Boeing. Ubicado en San José dos Campos.
- b) Desarrollo de Aeronaves de uso militar: C-312-Tucano, C-314-Super Tucano, AMX y KC-390
- c) Se generó una visión estratégica con el programa ERJ-145: para cubrir la necesidad de aerolíneas regionales.

- **Federación Mexicana de la Industria Aeronáutica - FEMIA:**

Constituida en 2007: con 130 empresas y después de 4 años logró duplicarlas a 248, incluyendo empresas líderes en la fabricación de aviones y de partes en el mundo que realizan operaciones de manufactura y/o ingeniería como: Bombardier, Honeywell, Grupo Safran, Eaton Aerospace, Goodrich, ITR, entre otras. Como principales características que se pueden mencionar de éste modelo, son:

- a) Localización geográfica: cerca del mercado más importante, lo que actualmente implica reducir costos de producción principalmente de las compañías que reali-

- zan operaciones en Europa.
- b) La experiencia y nivel de competitividad alcanzado en otros sectores como el automotriz y electrónico.
- c) Diversos tratados de libre comercio que permiten el acceso en condiciones preferenciales a 43 mercados.
- d) 16 estados con agrupaciones industriales 5 principales: Nuevo León, Sonora, Querétaro, Chihuahua, Baja California.

- **Entorno Local:**

En el entorno local se pueden mencionar características como:

- Regionalización de industria, CAESCOL Antioquia, CLARE Risaralda, ACO-PAER Bogotá, CRTM Valle del Cauca.
- Iniciativas de Estado con orientación al desarrollo de Programas de Proveedores.
- F-Air Vitrina comercial en el País para la industria.
- 09 TLC relevantes para el sector Estados Unidos, Canadá y México.

Cada uno de los contextos mencionados anteriormente, junto con la recolección de la información, se logró identificar la limitada capacidad económica de las empresas en Colombia, en donde predominan las pequeñas y medianas empresas. Éste factor limita el desarrollo de un plan de fortalecimiento tecnológico que pueda ser plasmado en la estrategia corporativa, conllevando a que el desarrollo de proyectos y consolidación de oportunidades tarde más tiempo de lo que una Organización con la disponibilidad de recursos, podría obtener en el corto plazo.

De manera complementaria se identificaron como puntos en común, criterios específicos como:

- a) Escasa demanda local de productos aeronáuticos, por parte del estado como principal promotor de desarrollo de industria.
- b) Falta de integración entre las asociaciones aeronáuticas del país, que proyecten un modelo de unidad, que permita la participación de economías externas y complementarias, con el fin de atraer inversión o encadenamiento productivo.
- c) Falta de inversión en infraestructura, tecnología y en programas de capacitación, como transferencia de conocimiento para el sector.
- d) Falta de un ecosistema que incentive la inversión privada, así como la falta de políticas para eliminar barreras en la adquisición de materias primas y recursos para la producción en el sector aeronáutico.

En consideración de lo anterior, se logró identificar que de manera generalizada, las Organizaciones no cuentan con el músculo para llevar a cabo iniciativas de fortalecimiento tecnológico y de proyectos de innovación para el sector aeronáutico, debido a la alta inversión requerida; por lo tanto es necesario el apoyo del gobierno, en la promoción de iniciativas y proyectos incluyentes enfocados en un modelo o red de integración, que generen los recursos necesarios orientados al fortalecimiento de la industria (Academia, Organizaciones, Estado y Sociedad). Es por esto, que lograr una asociación efectiva de empresas permitiría sumar capacidades y mitigar riesgos, en la ejecución de proyectos de manera conjunta; logrando consolidar resultados efectivos, que redunden en la visibilidad y competitividad a nivel internacional.

Sin embargo, lograr una integración efectiva requiere de un proceso de generación de conciencia, dada la cultura e idiosincrasia regional; pues es requerido que los líderes de empresas se articulen a una misma visión y estrategia, que oriente a logros de alto impacto en la Industria, estableciendo estrategias de oportunidad equitativas que faciliten el desarrollo económico, social y cultural del sector, aportando al mismo tiempo en el desarrollo de país.

Por lo tanto establecer un modelo de Integración, requiere de igual forma la definición de responsabilidades tanto de las empresas del sector aeronáutico, los líderes de las instituciones gubernamentales, de otras organizaciones privadas interesadas en su agrupación, para lograr la efectiva gestión del ecosistema (articulación, representación y promoción).

El proyecto de desarrollo de proveedores, se enfoca en la importancia de generar conexiones sistemáticas de un programa nacional para la industria aeronáutica de promoción y desarrollo, en búsqueda del encadenamiento productivo a mercados internacionales, bajo un modelo de asociatividad que fortalezca y desarrolle la eficiencia productiva del sector, en los procesos de diseño y desarrollo, manufactura y proveeduría.

En consecuencia las ventajas competitivas que se logren con los apoyos, la integración de industria y la construcción de una visión común, será realmente útil si es sostenible y si las empresas pueden mantenerla durante el tiempo; es por esto que tal sostenibilidad debe encontrarse articulado a la estrategia corporativa y estar sustentada en un modelo no coyuntural o pasajero, sino que le permita a las Organizaciones generar oportunidades para la ampliación de mercados.

los líderes de las instituciones gubernamentales, de otras organizaciones privadas interesadas en su agrupación, para lograr la efectiva gestión del ecosistema (articulación, representación y promoción).

El proyecto de desarrollo de proveedores, se enfoca en la importancia de generar conexiones sistemáticas de un programa nacional para la industria aeronáutica de promoción y desarrollo, en búsqueda del encadenamiento productivo a mercados internacionales, bajo un modelo de asociatividad que fortalezca y desarrolle la eficiencia productiva del sector, en los procesos de diseño y desarrollo, manufactura y proveeduría.

En consecuencia las ventajas competitivas que se logren con los apoyos, la integración de industria y la construcción de una visión común, será realmente útil si es sostenible y si las empresas pueden mantenerla durante el tiempo; es por esto que tal sostenibilidad debe encontrarse articulado a la estrategia corporativa y estar sustentada en un modelo no coyuntural o pasajero, sino que le permita a las Organizaciones generar oportunidades para la ampliación de mercados.

Resultado cuantitativo por criterio, según análisis de contexto de las empresas piloto

Con la revisión de la información recolectada, se estableció para los elementos de gestión y de operación definidos en la metodología, la agrupación de los mismos en aspectos claves, con la asignación de pesos porcentuales, junto con los criterios de evaluación a nivel cualitativo y cuantitativo así:

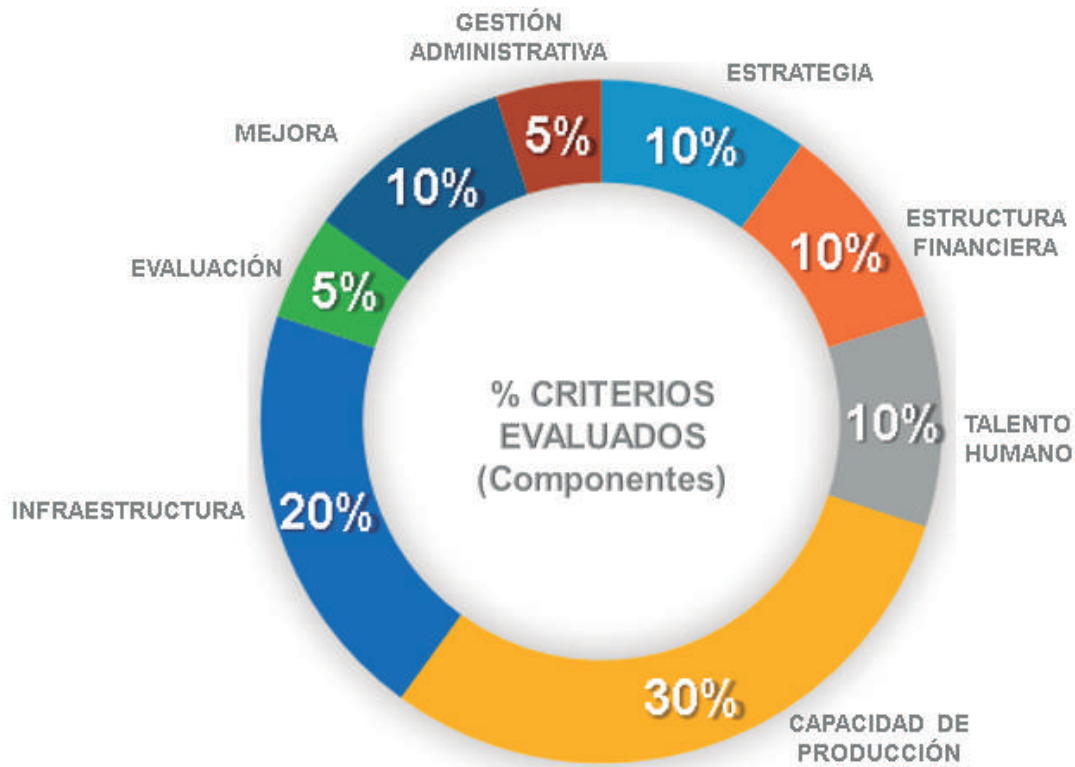


Figura 5. Aspectos claves y porcentajes asignados. Componentes objeto de revisión y análisis con asignaciones.

Criterio	Puntuación
No lo tiene	1
En proceso	3
Lo tiene	5

Tabla 1. Criterios de evaluación de los aspectos de gestión y operación.

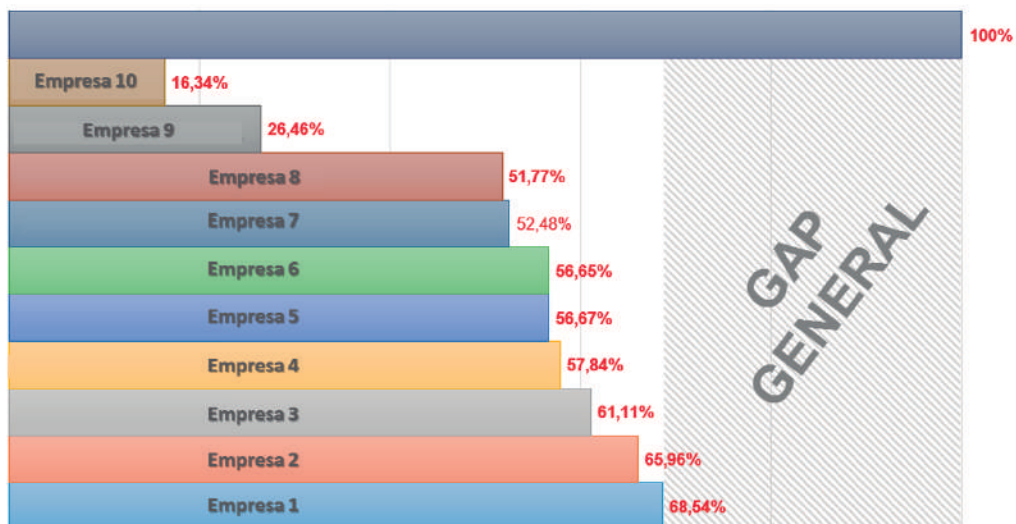


Figura 6. Resultado de la evaluación de las empresas. Brechas existentes frente a los aspectos evaluados.

.Al evaluar los componentes y aspectos asociados, se logra identificar que las empresas que cuentan con capacidades productivas desarrolladas, tienen el potencial para incorporarse de un modo más flexible en procesos para el sector Aeronáutico. A nivel general el cierre de brechas se encuentra en el diseño e implementación de controles y estándares aeronáuticos para el establecimiento de procesos de fabricación, lo que puede ser incorporado en las líneas ya desarrolladas. Así mismo se evidencia la necesidad del fortalecimiento de competencias del personal a través de la capacitación y el entrenamiento.

De otra parte las Organizaciones que se encuentran por debajo del 50%, evidencian como fortaleza, la capacidad y competencia para el desarrollo de productos aeronáuticos; no obstante no cuentan con la estructura, el soporte organizacional y de gestión requeridos, para potencializar sus capacidades con procesos de producción continuos y estandarizados. Por lo tanto se identifica la necesidad en la generación de planes y programas para el fortalecimiento de la estructura organizacional (planeación estratégica, gestión administrativa y financiera, controles técnicos en procesos planes de capacitación y entrenamiento del personal).

Los resultados obtenidos y aspectos evaluados, se visualizan según la **Figura 7. Resultado promedio de la evaluación por Componentes.**

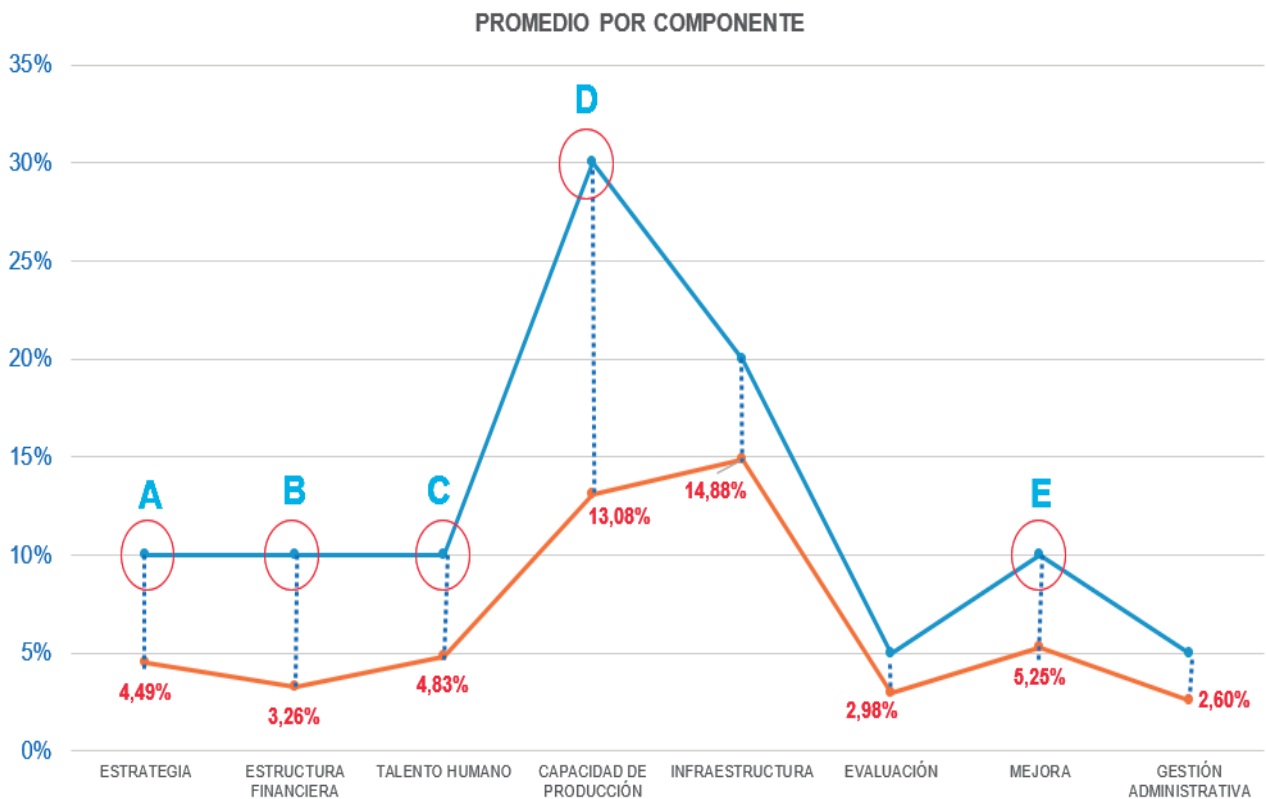


Figura 7. Resultado promedio de la evaluación por Componentes.

Como puede observarse en la Figura 7, los puntos “a” (estrategia), “b” (estructura financiera), “c” (talento humano), “d” (capacidad de producción) y “e” (mejora), evidencian un brecha significativa; para lo cual se requiere la definición de planes de acción con prioridades específicas en dichos componentes.

- a)** Estrategia: con relación a éste componente se identificó de manera generalizada, que las Organizaciones no contemplan una planeación con visión a mediano y largo plazo con proyección en la Industria Aeronáutica; o que no permite el enfoque de directrices para el desarrollo de objetivos y acciones que conlleven a la identificación y gestión de oportunidades comerciales en el mercado nacional e internacional, limitando el crecimiento, la competitividad y amentando la incertidumbre en la materialización de riesgos que afectan la continuidad del negocio.
- b)** Estructura Financiera: con relación a éste componente se identificó de manera generalizada, que las Organizaciones aunque cuentan con una gestión contable y administrativa, no se evidencia un análisis y planeación financiera; lo que conlleva a limitar el crecimiento empresarial, en algunas ocasiones la pérdida de rentabilidad, utilidades y posicionamiento. No se tiene claridad los márgenes para facturar dentro de plazos, control de ingresos, egresos y riesgos y por ende la falta de estructuración de flujos de caja para fortalecer la gestión operativa y el acceso a créditos de financiamiento en caso de requerirse, así como tampoco un análisis del fortalecimiento con relación a los resultados y métricas aplicables (indicadores financieros).
- c)** Talento Humano: con relación a éste componente se identificó de manera generalizada, que se requiere capital humano con capacidades orientadas a la especialización aeroespacial y fortalecer las habilidades administrativas y básicas como el idioma inglés; toda vez que no se cuenta con programas formales de formación, capacitación y entrenamiento a nivel técnico y tecnológico, para el desarrollo de competencias específicas en procesos de ingeniería y manufactura de productos aeronáuticos.
- d)** Capacidad de producción: con relación a éste componente se identificó de manera generalizada, que las Organizaciones han consolidado sus procesos de producción, a través de la aplicación de requisitos específicos para la certificación de productos ante la Autoridad de Aviación de Estado – SECAD; sin embargo debido a la escasa demanda, no se ha logrado establecer una línea de producción en los procesos de manufactura; así como tampoco la implementación de controles de aseguramiento de la calidad, con referencia a estándares internacionales, lo que representa una desventaja competitiva.
- e)** Mejora: con relación a éste componente se identificó de manera generalizada, que las Organizaciones no gestionan un proceso formal de innovación y mejora; lo que

puede conllevar a debilitar la productividad, la adaptación a procesos tecnológicos, la flexibilidad y capacidad de reacción frente a cambios en el entorno.

En consideración de lo anteriormente expuesto, se requiere crear condiciones de largo plazo, que permitan la integración de industria, generar capacidades en bloque, con mayor contenido tecnológico, que eleven la competitividad del sector con enfoque en mercados internacionales; logrando al mismo tiempo la transversalidad en la cadena de valor para el desarrollo de productos y/o componentes con demanda.

Clasificación según nivel de avance.

Conforme a los resultados obtenidos, para la muestra de las diez (10) empresas, se logra clasificar a dichas Organizaciones según su puntuación frente al nivel de avance dentro de una categoría de integración y servicios complementarios, lo cual permite identificar las capacidades de articulación para el desarrollo de los diferentes componentes aeronáuticos.

Un proyecto incluyente con enfoque de integración, articulación y con propósito de generar capacidades de industria, constituye la fabricación de una aeronave, en donde las Empresas del Sector Aeronáutico en Colombia, se gestionen para intervenir las brechas, acelerando sus procesos administrativos, productivos y comerciales, para generar la competitividad y alistamiento requerido y es en donde el medio es la fabricación de la aeronave, pero el fin es la consolidación de las capacidades en la Organizaciones.

Un Proceso de ensamble de un avión, requiere del aseguramiento en el cumplimiento de las especificaciones técnicas y de calidad de sus componentes; lo que implica que los elementos y sus materiales, deben pasar por controles específicos que garanticen la seguridad de producto.

Es por esto que se deben tomar en consideración aspectos claves en losprocesos de producción como:

- a) Viabilidad económica
- b) Proceso de Ingeniería
- c) Capacidad de Manufactura
- d) Procesos asociados al desarrollo del producto (fundición, tratamientos térmicos, químicos, ensayos, entre otros).
- e) Procesos de aseguramiento y estándares de calidad asociados al desarrollo del producto (ISO 9001, AS 9100, NADCAP, FAA, EASA, LAR, según aplique al producto y proceso de comercialización).

De las diez (10) Organizaciones que hicieron parte del proyecto, se ha identificado el potencial de fabricación de los siguientes componentes:

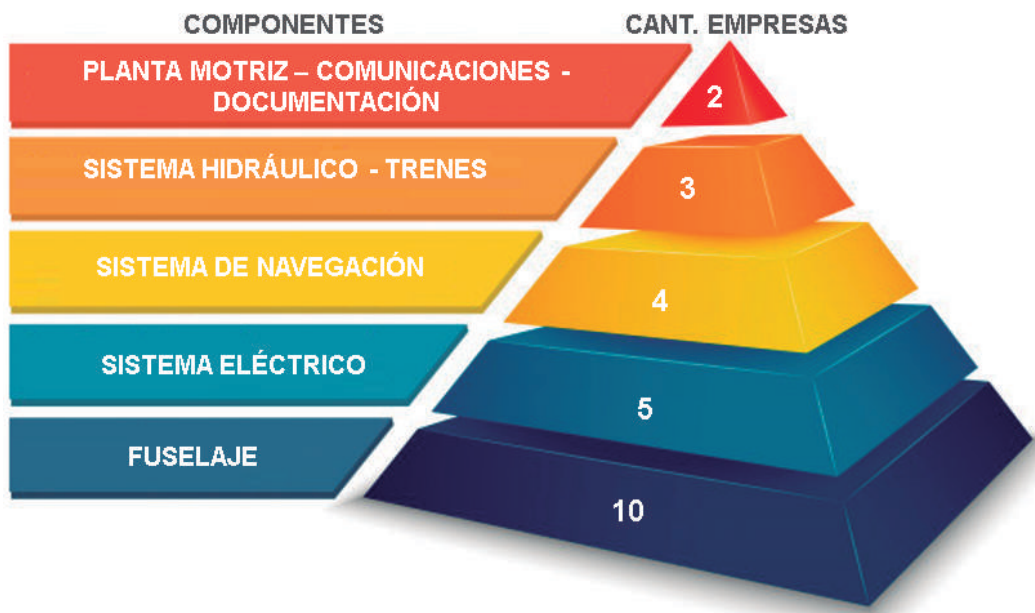


Figura 8. Potencial de Fabricación de las empresas piloto, objeto de estudio.

Para el componente de “Sistema de Combustible”, en esta primera fase, no se identificaron empresas con la capacidad para el diseño y fabricación.

Modelo de Desarrollo

- **Transformación en economía de conocimiento**

La Creación de conocimiento y su transferencia como recurso indispensable para el sector Aeroespacial y de Defensa, como proyección a **economías más avanzadas**, permitirá lograr la competitividad económica y mejora de las empresas; de ello dependen activos intangibles, como el **diseño**, la **investigación** y el **desarrollo**, así como el capital organizacional humano.

Por lo tanto, para ser reconocidos como una industria Aeronáutica competitiva y con capacidad de participar en la cadena de producción mundial, generando productos de alta calidad, confiabilidad orientados a la seguridad operacional, la Industria deberá fortalecer el procesos de aceleración y encadenamiento productivo, tomando en consideración los ejes claves para el desarrollo del modelo, como se visualizan en la figura 9.



Figura 9. Ejes para el modelo de desarrollo.

Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos y el análisis realizado, se requiere brindar las condiciones que contribuyan a elevar la competitividad del Sector Aeronáutico en Colombia, a través del diseño de estrategias y acciones con mayor contenido tecnológico, que creen las condiciones de largo plazo para la atracción de inversión y desarrollo de proveedores con potencial de exportación.
- Para la continuidad del programa de desarrollo de proveedores, es importante la vinculación y participación de todos los actores como: empresas del sector, instituciones educativas, de investigación y gobierno, para que de manera objetiva e imparcial, se puedan establecer estrategias y acciones concretas, dentro de un Contexto Estratégico.
- A partir de la muestra de las diez (10) empresas que hicieron parte del proyecto, se refleja de manera general el estatus de la capacidad de industria en el País, siendo ésta información insumo base para los actores del sector, en el análisis, la toma de decisiones y la promoción.
- Es importante considerar, dentro del contexto de un programa de desarrollo de pro-

veedores, que aquellos de primer nivel, realizan actividades de manufactura y/o de desarrollo tecnológico fuera de sus países de origen; siendo esto una oportunidad para fortalecer la base manufacturera existente y ampliar las actividades de diseño y desarrollo, en países referentes (México, Brazil, Estados Unidos), lo que permite crear las condiciones para reducir costos y facilitar los procesos de organización y la logística para operar a lo largo de la cadena productiva.

- e) Se debe considerar la necesidad integrar Organizaciones que de manera complementaria hacen parte de la cadena de valor (logística, consultoría, servicios asociados, entre otros), desde el diseño, manufactura y entrega de productos, con el objetivo de completar el ecosistema aeronáutico en el país.
- f) Dentro del proceso de análisis y revisión de las Empresas, se identificó un bajo porcentaje en la implementación de sistemas de gestión bajo estándares internacionales y de seguridad; lo cual es un aspecto que distingue a la industria aeroespacial sobre otras industrias; por lo tanto es importante que las Organizaciones consideren en su proyección estratégica, la obtención de certificaciones como: ISO 9001:2015, AS9100 o NADCAP, según sea aplicable.
- g) Considerar la necesidad de mejorar la organización y efectividad en planes Gobierno-Industria-Academia, con el objetivo de lograr una política industrial, con la coordinación entre los diferentes actores, a través de la estructura de un modelo de Federación que integre a todas las regiones, definiendo los objetivos y las estrategias de manera conjunta, como primer paso e instrumento propio del Programa de Desarrollo de Proveedores.

Bibliografía.

- ACOPAER. (2017). *Plan Estratégico de la Industria Aeroespacial - PEICA*. Bogotá. Colombia Productiva. (2019). *Fase Inicia Programa de Desarrollo de Proveedores*. Bogotá. Diego Fernando Morantes Granobles, R. J. (2010). *Prospectiva Tecnológica para el sector aeronáutico con potencial exportador en el Suroccidente Colombiano*. Cali: Universidad Libre. DNP-Dirección Nacional de Planeación. (2017). *Desarrollo Productivo del Sector Aeronáutico*. Bogotá. El tiempo. (11 de Julio de 1991). Pijao, Primer Avión hecho en Colombia. *El tiempo*, pág. 1. Monitor, S. (1992). *Programa de Competitividad Clúster Aeronáutico en Euskadi*. Oñate, A. E. (1996). *Conocimientos del Avión*. Madrid: Paraninfo. Planeación, D.-D. N. (2016). *Documentos Conpes 3866 "Política Nacional de Desarrollo Productivo"*. Bogotá. Revisa Dinero. (2000). Dos Historias de Alas. *Revisa Dinero*, 6. Rivera, O. (2004). *El Clúster del Conocimiento*. Montevideo: Universidad de Deusto. Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2018). Fortalecimiento de la Industria Aeronáutica Colombiana. *Nota de estudio Foro Plan Estratégico Aeronáutico, 2018-2030*, (pág. 8). Bogotá.

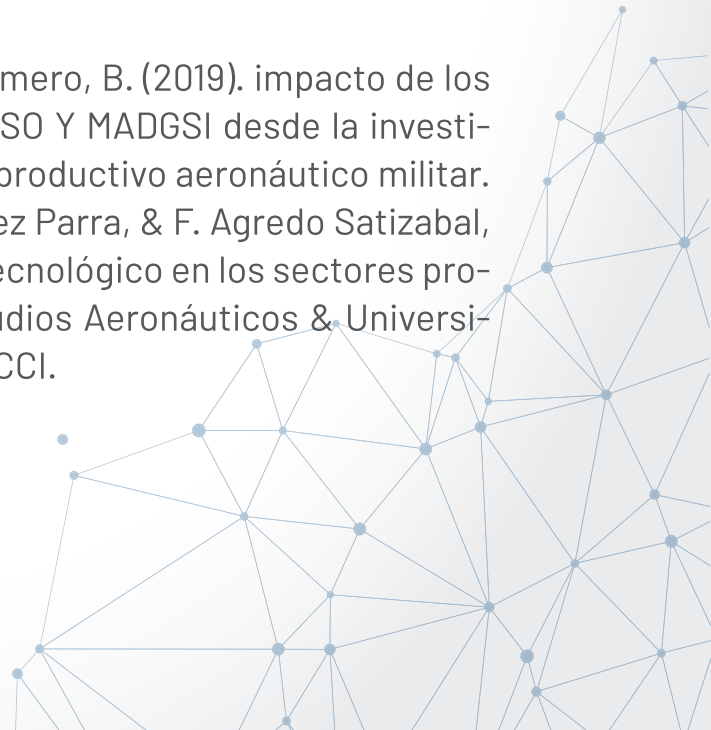


CAPITULO 2

IMPACTO DE LOS PROGRAMAS MAELA, MACMA, MAESO Y MADGSI DESDE LA INVESTIGACIÓN EN LA SOCIEDAD Y EL SECTOR PRODUCTIVO AERONÁUTICO MILITAR

Como citar esta Sección I.

Martinez Lobo, A., & Martinez Romero, B. (2019). impacto de los programas MAELA, MACMA, MAESO Y MADGSI desde la investigación en la sociedad y el sector productivo aeronáutico militar. En A. d. Martinez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.



Impacto de los programas MAELA, MACMA, MAESO y MADGSI desde la investigación en la sociedad y el sector productivo Aeronáutico Militar

Alicia del Pilar Martínez Lobo ¹
Bernardo Steven Martínez Romero ²

Resumen

El siguiente artículo es resultado de una investigación de tipo descriptivo y exploratorio sobre el impacto socio económico que los programas de Maestrías de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, han tenido en el sector productivo Aeronáutico Militar; campo de acción principal del egresado de los programas de maestría.

Se inicia el artículo con una contextualización del sector aeronáutico, luego se determina los lineamientos para investigación desde el Ministerio de Educación, Ministerio de Defensa Nacional, Fuerza Aérea Colombiana y Colciencias, posteriormente, se analizan los resultados de encuestas de seguimiento y evaluación, desarrolladas por la EPFAC frente a la percepción del programa y su impacto socio-económico-laboral por parte de los egresados y de los empleadores que corresponden al sector productivo Aeronáutico Militar.

Así mismo, por parte de los autores, se elaboró una encuesta al personal de estudiantes y egresados, en la que se buscó evaluar las competencias en investigación desarrolladas al interior de cada programa de maestría ofertado por la EPFAC.

Palabras Claves.

Programa posgradual en la FAC, Educación Aeronáutica, Competencias investigativas.

Abstrac

The following article is the result of a descriptive and exploratory investigation on the socio-economic impact that the programs have had in the military aeronautical productive sector, the main field of action of the graduate of the Masters of the Graduate School of the Colombian Air Force. It began with A contextualization of the aeronautical sector, then the guidelines for research were determined from the Ministry of Education, Ministry of Defense, Air Force and Colciencias. Subsequently, results of monitoring and evaluation surveys were carried out, developed by EPFAC against the perception of the program and its socio-economic-labor impact by graduates and employers.

aeronautical productive sector, the main field of action of the graduate of the Masters of the Graduate School of the Colombian Air Force. It began with A contextualization of the aeronautical sector, then the guidelines for research were determined from the Ministry of Education, Ministry of Defense, Air Force and Colciencias. Subsequently, results of monitoring and evaluation surveys were carried out, developed by EPFAC against the perception of the program and its socio-economic-labor impact by graduates and employers.

¹ Investigadora Categoría Asociada. Alicia.martinezlobo@gmail.com

² Ingeniero Industrial. Docente, Maestría en Logística Aeronáutica EPFAC. bernardomaro@gmail.com

Likewise, a survey by the authors was related to the staff of students and graduates in which they sought to evaluate the research competencies developed within each master's program offered by the EPFAC.

Keywords. Postgraduate programs FAC, Aeronautical Education, Research Competencies.

Introducción

Al analizar el impacto desde el factor de investigación que TIENEN los programas de maestría de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana EPFAC, QUE han tenido en la sociedad y en el sector productivo AERONÁUTICO MILITAR, es importante establecer referentes que permitan comparar y evaluar el desarrollo de la misma por parte de los egresados y determinar la puesta en práctica de los saberes, mediante la generación de conocimiento, la apropiación y el desarrollo e innovación tecnológica.

Para ello, se tomarán tres referentes, el primero, desde los criterios del Ministerio de educación y Colciencias, el segundo, desde los lineamientos de los Sistemas Educativos propios de las Fuerzas Militares, en especial la Fuerza Aérea colombiana y tercero, desde la producción de los programas relacionada con las actividades de investigación según la tipología de Colciencias.

Marco Teórico

Para el desarrollo del marco teórico, se presenta en primera instancia una revisión documental del sector aeronáutico colombiano, para luego entrar a los lineamientos de los Ministerios de Educación y Defensa, cerrando con las directrices de la Fuerza Aérea Colombiana y la Escuela de postgrados EPFAC.

Contexto Sector Aeronáutico Colombiano

El Sector Aeronáutico en Colombia reúne todos los procesos, actividades, talento humano, materiales técnicos y recursos financieros necesarios para realizar el transporte de pasajeros y carga por vía aérea, la aviación en general también se relaciona con las organizaciones que están involucradas en actividades de vuelo como son la aviación comercial y la aviación militar y por último la instrucción de vuelo.

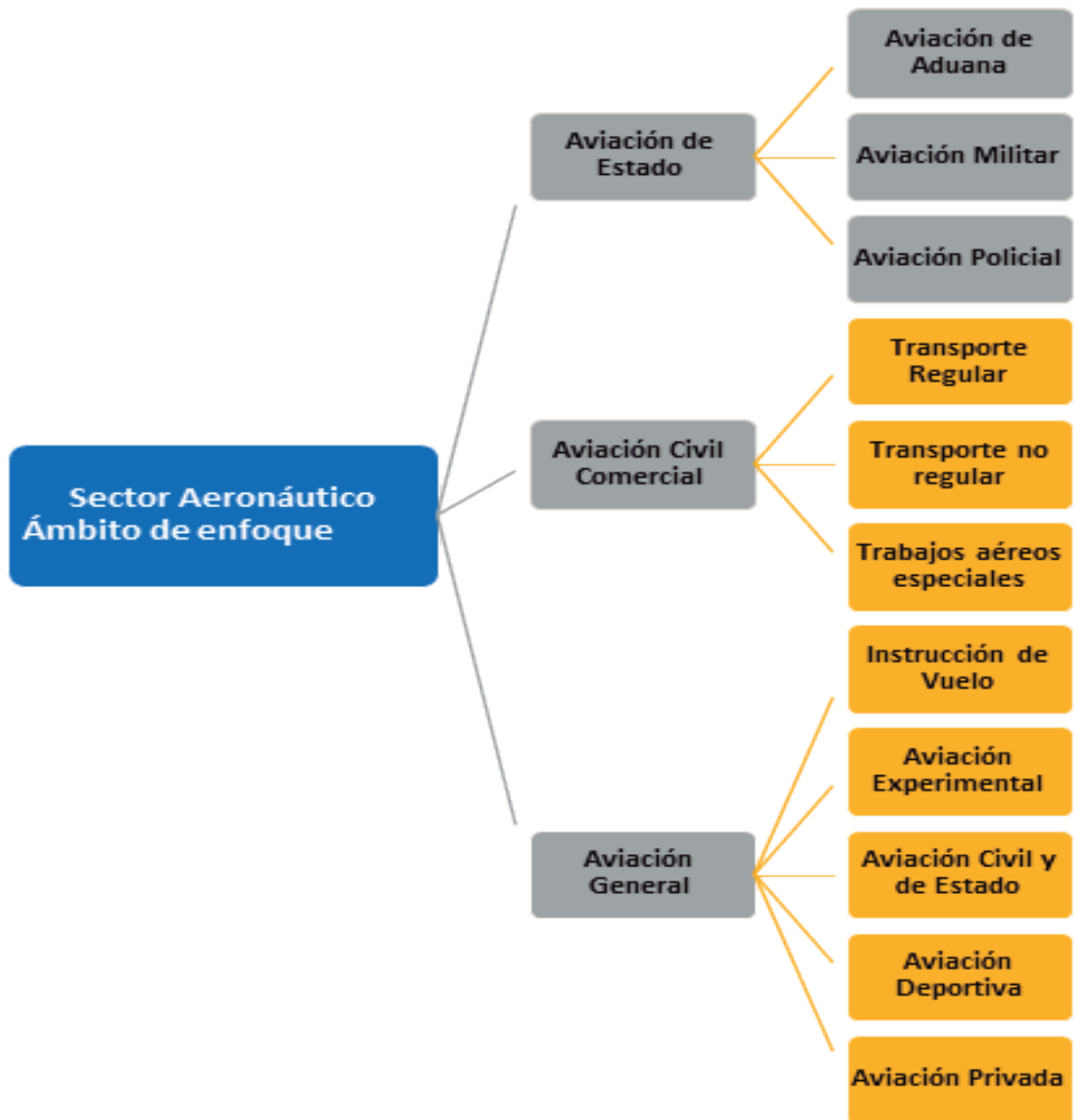
A su vez, el Sector Aeronáutico tiene los siguientes enfoques según su ámbito. El Subsector Civil Comercial y el Subsector asociado con los requerimientos Estatales (militares).

En la actualidad, según lo establecido en el Marco Nacional de Cualificaciones de Colombia (2017), Latinoamérica ocupa el tercer puesto después de Medio Oriente y Asia. Debido al incremento de 7,9% de tráfico aéreo con la aparición de aeronaves de bajo costo según datos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y con base en la publicación del World Air Traffic Forecast 2018, del Airports Council International, Colombia está de octavo dentro de los diez mercados a nivel mundial con mayor crecimiento proyectado en el tráfico de pasajeros, con una tasa del 5,4 % anual. Según el informe de Estudios Sectoriales de la Aeronáutica Civil para el 2018 en Colombia se movieron 69,3 millones de viajeros. (MINEDUCACION; MINDEFENSA, 2017)

Por otro lado, respecto al movimiento de mercancías en el 2018. Colombia movió 2.297 millones de toneladas de carga y correspondencia, de los cuales 97 millones fueron a nivel nacional y 2.200 millones internacional. En la actualidad, Colombia cuenta con 703 terminales aéreas entre bases militares, de fumigación, aeródromos y aeropuertos. Lo anterior, es una evidencia de la importancia del transporte aéreo como uno de los medios más utilizados en estos días, tanto por el sector defensa como en el Civil.

En términos militares, la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC) es un referente del desarrollo acelerado que ha vivido el sector aeronáutico en el país durante los últimos años. Su objetivo es ejecutar proyectos aeronáuticos de fabricación y actualización de aeronaves, junto con servicios de mantenimiento preventivo y correctivo principalmente de las Fuerzas Militares.

Es importante resaltar que Colombia ocupa el tercer puesto en Latinoamérica con el mayor porcentaje de la flota aérea latinoamericana, después de Brasil y México. El siguiente esquema muestra la jerarquía del Sector Aeronáutico según su ámbito.



Gráfica 1. Jerarquía Sector Aeronáutico.

Fuente. Elaboración Propia. Información tomada de Cartilla Marco Nacional de Cualificaciones Colombia, Sector Aeronáutico. Reglamento Aeronáutico Colombiano (RAC)

Según las cifras del DANE, en 2017 la industria Aeronáutica representó el 2,2 por ciento del PIB nacional y generó alrededor de 600.000 empleos, los cuales no solo están asociados a manejo y vuelos de aeronaves sino a los servicios que se utilizan para el buen funcionamiento de las mismas. El Sector Aeronáutico con el fin de obtener eficiencia en sus procesos se relaciona directamente con funciones de apoyo para las operaciones Aeronáuticas tales como son los Servicios de Construcción Mantenimiento de Aeronaves, Servicios de Infraestructura, Servicios Navegación con el apoyo durante el vuelo y soporte en tierra, junto con los Servicios de Protección y Alertas.

Según las cifras del DANE, en 2017 la industria Aeronáutica representó el 2,2 por ciento del PIB nacional y generó alrededor de 600.000 empleos, los cuales no solo están asociados a manejo y vuelos de aeronaves sino a los servicios que se utilizan para el buen funcionamiento de las mismas. El Sector Aeronáutico con el fin de obtener eficiencia en sus procesos se relaciona directamente con funciones de apoyo para las operaciones Aero-náuticas tales como son los Servicios de Construcción Mantenimiento de Aeronaves, Servicios de Infraestructura, Servicios Navegación con el apoyo durante el vuelo y soporte en tierra, junto con los Servicios de Protección y Alertas.

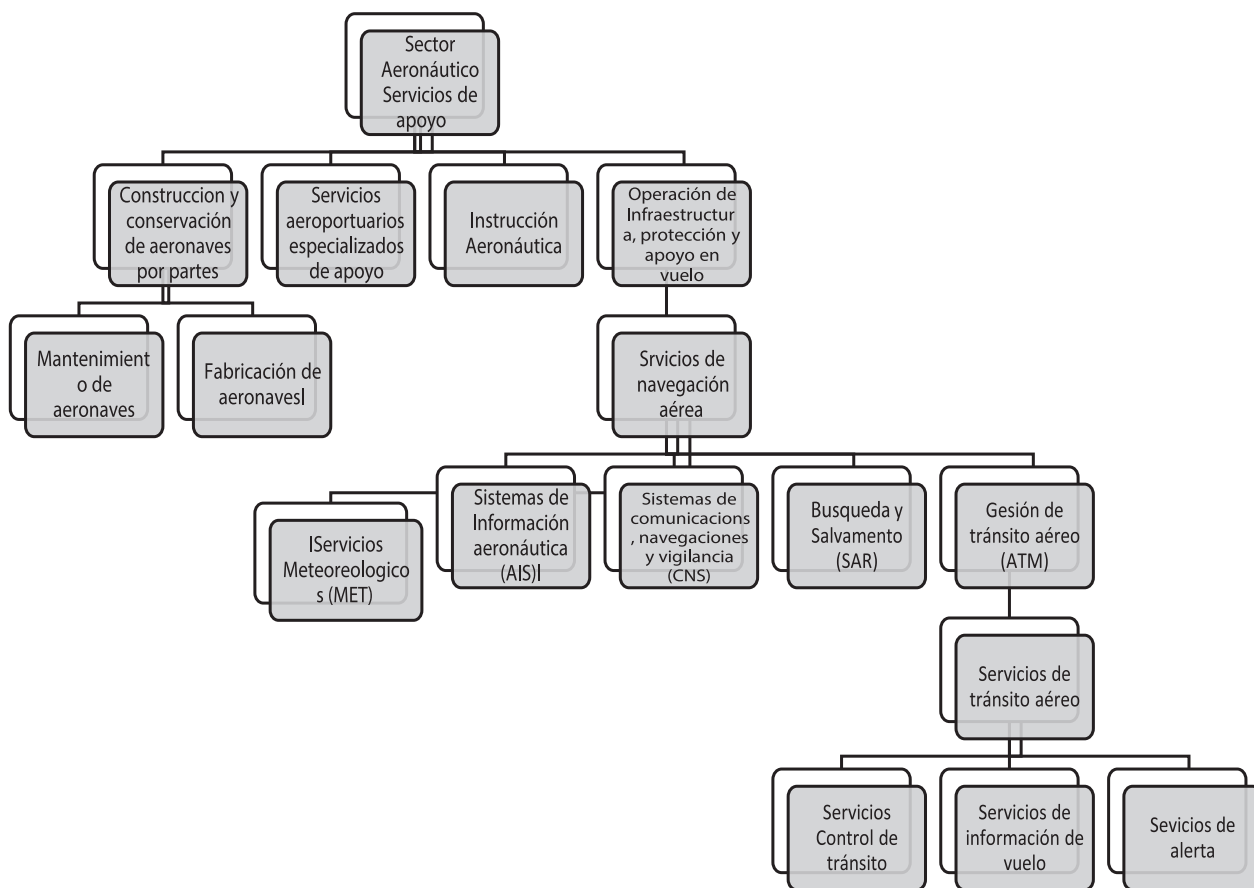
El Subsector de Mantenimiento Aeronáutico se enfoca en todas las actividades necesarias para conservar en condiciones óptimas los equipos y sistemas que respaldan las operaciones de las aeronaves, incluyendo el equipo militar y armamento aéreo. Respecto al sector laboral se reconocen dos ocupaciones asociadas a este subsector que son Técnico en Mantenimiento e Inspector de Mantenimiento. (MINEDUCACION; MINDEFENSA, 2017)

El Subsector de Servicios de Navegación Aérea son aquellos que se ofrecen a las aeronaves para garantizar un vuelo eficiente y seguro desde origen hasta el destino. Entre estos se encuentra los servicios de tránsito aéreo, el cual busca prevenir las colisiones entre distintas aeronaves, además de ofrecer la información y asesoría que se requiere durante los vuelos. Los cargos asociados a este subsector son Controlador de tránsito aéreo y supervisor de servicios de tránsito. (MINEDUCACION; MINDEFENSA, 2017)(DANE, 2019)

El uso de las TICs es una tendencia que hace parte de esos dos subsectores aeronáuticos, principalmente en el uso de dispositivos electrónicos, como los son computadores, tabletas y teléfonos de última generación, junto con la capacitación del talento humano en el uso de software como los ERP y WMS. Lo anterior también va de la mano con el Plan Estratégico Aeronáutico 2030 en que se apuesta por la Aviónica, proyecto de aplicación de electrónica a la aviación.

Un ejemplo de empresas con enfoque de mantenimiento aeronáutico es la CIAC que por su infraestructura y constitución presta servicios de mantenimiento no solo al Ministerio de Defensa a nivel nacional sino la reparación de aeronaves como el Airbus A320 de prestigiosas aerolíneas comerciales, junto con la exportación de servicios de mantenimiento a países de Latinoamérica en los que se encuentra Bolivia y Uruguay.

El siguiente esquema muestra la jerarquía y su relación de los servicios de apoyo y soporte con el Sector Aeronáutico



Gráfica 2. Jerarquía y su relación de los servicios de apoyo y soporte con el Sector Aeronáutico Fuente. Elaboración Propia. Información tomada de Cartilla Marco nacional de Cualificaciones Colombia. Subsectores de mantenimiento y servicios de navegación. Reglamento Aeronáutico Colombiano.

El crecimiento del sector aeronáutico colombiano justifica su participación en la primera etapa del Marco Nacional de Cualificaciones (MNC). Pero es importante tener en cuenta que el MNC promueve la participación de los sectores educativo, gubernamental y laboral para fomentar y fortalecer la industria aeronáutica.

Lo anterior, se ve reflejado con la creación de Clusters aeronáuticos como por ejemplo el de Fontibón (única zona franca aeroportuaria y aeronáutica de Colombia) donde la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC) cuenta con 500 trabajadores que promueven el desarrollo aeroespacial del país o el Clúster Aeroespacial Colombiano CAESCOL, que empezó gracias al trabajo conjunto de del sector empresarial antioqueño y el Centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa – CETAD, de la Fuerza Aérea Colombiana.

Criterios de Ministerio Educación y Colciencias

Dado que la educación tiene un carácter social, las IES tienen la responsabilidad de proyectarse a la comunidad y articular su función formativa con las oportunidades de sus egresados de integrar al sector productivo y aportar al desarrollo tecnológico e innovación de procesos, que se puedan materializar a través de cualquiera de las funciones sustantivas de la educación, docencia, investigación y proyección social.

Se pide a los programas de educación superior tener espacios de socialización con agentes del sector externo, para que haya coherencia entre el saber disciplinar y el saber profesional, existen diferentes estrategias para evidenciar la participación del programa con el sector externo como: ofrecer seminarios, asesorías, cursos. dentro del perfil de la institución que respondan a las necesidades del entorno.

También se puede evidenciar la interacción de la academia y el sector externo con el desarrollo de los trabajos de grado, estudio de casos, propuestas de intervención o innovación en la empresa o institución donde labora el egresado y su participación en proyectos de desarrollo tecnológico. Con este tipo de estrategias se muestra la interacción permanente de la academia, el currículo, la investigación, la producción artística, la proyección social con esos actores del sector externo que las IES en su autonomía y en la lógica de sus programas, regiones y comunidades desarrollan.

En la Política Nacional como fomento a la investigación e innovación Colciencias analiza que: "Parte de la convicción de que la generación y uso del conocimiento son dos de las fuerzas dinamizadoras de la sociedad. La transformación productiva y la solución de problemas sociales requieren el dominio de competencias científicas y tecnológicas y de la comprensión profunda del contexto en que se despliegan, para que actúen desde una perspectiva ética, política, social y económicamente pertinentes". (Colciencias, 2008)

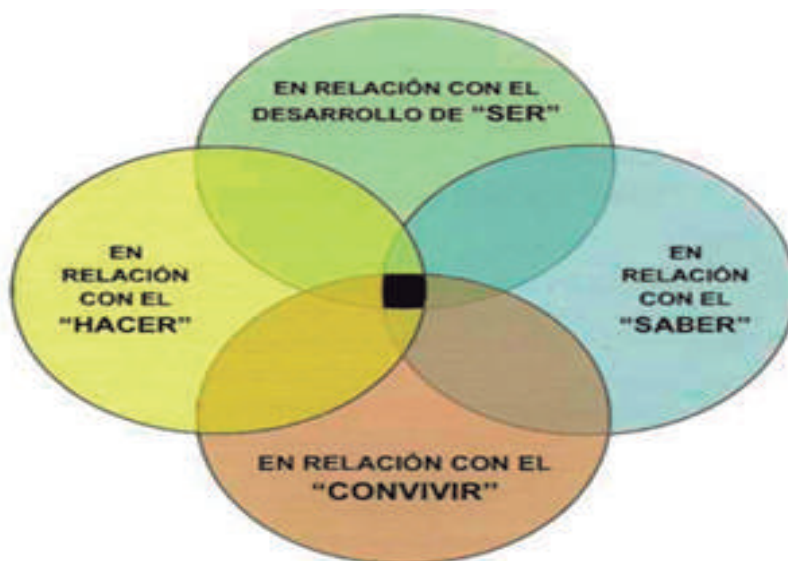
Así mismo. manifiesta que "La actividad investigativa, así como las alianzas entre sector empresarial y grupos de investigación que se han ido configurando en el país, muestran tendencias crecientes y positivas, que requieren de un impulso aún más decidido", (Colciencias, 2008, pág. 3)

Lineamientos MDN-FFMM

El Sistema Educativo de las Fuerzas Armadas tiene como principal responsabilidad direccionar y liderar las políticas y lineamientos que permitan fortalecer el desarrollo humano integral, así como consolidar la educación profesional militar y policial de manera ininterrumpida y ascendente, con altos estándares de calidad, garantizando que las políticas educativas estén en todo momento alineadas con la realidad nacional y mundial y dispuestas para enfrentar con éxito los desafíos actuales y futuros. (Ministerio de Defensa Nacional, 2010)

El SEFA determina que el perfil profesional del egresado de un programa académico de su sistema educativo debe estar relacionado con los saberes teórico-prácticos, manejar los fundamentos de la profesión y tener conceptos claros propios de las disciplinas y saberes militares.

El siguiente esquema identifica las dimensiones de la formación por competencias del profesional militar (Ministerio de Defensa Nacional, 2010, pág. 31) donde establece que el perfil profesional debe centrarse en un saber hacer y saber ser de manera integral que involucre valores y principios así como saberes conceptuales que desarrollen habilidades personales y laborales.



Gráfica 3 Formación por competencias PESE

La Fuerza Aérea Colombiana establece en el Sistema Educativo (FAC, 2014) en su Plan Estratégico Institucional (2011-2030), y el Proyecto Educativo Institucional (PEI 2017), "La oferta educativa de la Fuerza Aérea Colombiana, se centrará en la investigación, desarrollo e innovación de temáticas militares, aeronáuticas y espaciales que conduzcan, a los miembros de la Institución, a ejercer el liderazgo en el contexto del poder aéreo nacional y regional. (Numeral 7.2.3.5.12 PEI), y que igualmente la EPFAC debe propender no solamente por la calidad educativa sino por el "desempeño profesional del egresado, el posicionamiento de los mismos en el sector aeronáutico y el liderazgo aeroespacial" (FAC, 2011, pág. 10)

El propósito de la educación en la Fuerza Aérea COLOMBIANA, es dar respuesta a las necesidades propias de cada área funcional, del sector aeronáutico y de la sociedad, contribuyendo a la solución de los problemas institucionales, regionales y nacionales y generando conocimiento como base para el desarrollo de investigación aplicada, científica y tecnológica con los más altos estándares nacionales e internacionales (Numeral 7.2.3.5.13 PEI)

Igualmente, determina en el PEI (Numeral 7.2.3.5.27) que “Los proyectos de investigación, de desarrollo tecnológico y de innovación, deben ser de pacto institucional y su financiación debe beneficiar la mayor cantidad de actores dentro de la Fuerza Aérea”.

Como Unidad de la Fuerza Aérea COLOMBIANA, la EPFAC tiene una misión importante en el Plan Estratégico Institucional, cuyo objetivo No.6 es: “Desarrollar el talento humano con programas integrales de educación aeronáutica profesional y tecnológica, para ejercer el liderazgo del poder aéreo nacional”. Para fortalecer esta área, la dirección de la organización impulsa el desarrollo de la investigación en la Política No. 9, sobre Educación en la FAC, establece: “la investigación, con la infraestructura existente, debe estar orientada a estimular la creatividad a través de la adquisición y transferencia tecnológica, mediante la formulación, diseño, desarrollo y evaluación de actividades que permitan el desarrollo tecnológico militar aéreo y el liderazgo aeronáutico nacional”. (FAC, 2014)

Es por ello, que la EPFAC, como Institución de Educación Superior y al ofertar programas de maestría, es responsable de fomentar la investigación al interior de los programas y de la organización. El enfoque planteado se orienta hacia la investigación formativa, la cual, consiste en formar y desarrollar competencias en y para la investigación a través de actividades que le permitan familiarizarse con la investigación, con su naturaleza como búsqueda, con sus fases y funcionamiento y fomentar en el estudiante el interés y motivación por buscar la solución a ciertos problemas que se plantean en el área de su formación para generar la investigación aplicada y aportar al desarrollo tecnológico de la Fuerza.

La Escuela de Posgrados de la FAC EPFAC. como IES es generadora y dinamizadora desde la investigación de conocimientos, desarrollos e innovaciones, para el fortalecimiento de la misión de la Fuerza Aérea Colombiana y la cultura aeronáutica del país.

La Investigación en la EPFAC es una función sustantiva, en estrecha integración con la docencia, extensión e internacionalización, entendida como el proceso creativo, productivo y metodológico orientado a la búsqueda y aplicación de soluciones innovadoras a problemas aeronáuticos y a la creación adaptación o perfeccionamiento de procesos y/o procedimientos.

En su Plan Estratégico de Base PEB, establece que “soportará la investigación formativa en primera instancia y proyectará para el desarrollo de las maestrías la investigación aplicada”. Así mismo, determina que se fortalecerá el área de investigación mediante la gestión y organización de grupos de investigación, la realización de convenios y la orientación de líneas y proyectos de investigación. (EPFAC, 2012)

Es así entonces como la EPFAC plantea la investigación al interior de sus programas en sus PEP, como el eje articulador de la praxis educativa, reflejada en la producción de un conocimiento integrador, desde el punto de vista individual como colectivo, inherente a las diversas prácticas educativas que exige tanto el mundo contemporáneo, como la

realidad nacional e institucional.

Ahora bien, cuando se habla de investigación en este contexto se hace referencia no sólo a hacer investigación, sino también, y por lo menos, a ser capaz de consumir investigación y de utilizarla pertinentemente en el sector productivo de su formación.

En este orden de ideas, la investigación en los programas debe apuntar en el desarrollo de las competencias investigativas en su comunidad académica y fomentar porque esa producción este directamente relacionada con la solución a las problemáticas inherentes al campo del conocimiento específico de cada maestría.

Es por ello, que los programas de maestría están diseñados y estructurados para dar respuesta a las necesidades del entorno interno y externo, nacional e internacional y aportar a los saberes del campo aeronáutico y espacial.

A continuación, se hace una descripción del enfoque de la investigación desde cada una de las maestrías, plasmados en cada uno de sus PEP (Proyecto Educativo de Programa).

Maestría en Ciencias Militares MACMA

Este programa se dirige a personal militar de los niveles táctico y básico operacional de la FAC para fomentarles competencias útiles en su desempeño laboral y para fundamentarles el desarrollo de pensamiento estratégico y habilidades de liderazgo requeridas en su plan de carrera, que por requisito legal exige una formación académica y les brinda oportunidades para desarrollarla.

A través de este programa se busca profundizar conocimientos y despertar inquietud investigativa en los campos específicos y distintivos de la confluencia entre las ciencias militares y las aeronáuticas, distintivas de la FAC. En materia de investigación, se apunta a ejecutar proyectos para solución de necesidades institucionales, para cumplir la misión y alcanzar la visión de la FAC. (EPFAC, 2016, pág. 8)

Maestría en Logística Aeronáutica MAELA

Considerando la evolución de la logística en el país, el gobierno nacional tiene un plan de desarrollo denominado "Plan 2019-.30, en donde una de sus metas, se enfoca en buscar mejorar los servicios aeroportuarios y convertir a Colombia en un centro de distribución aeroportuario de carga para Suramérica; adicional, a los acuerdos comerciales del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y, a los acuerdos, con la Comunidad Andina de Naciones, que buscan reglamentar el intercambio de productos y servicios entre los países, aumentando de esta manera el comercio, la inversión y el desarrollo eco-

nómico y social. Adicionalmente, las diferentes organizaciones de orden nacional, sectorial e institucional relacionadas desarrollan planes de índole estratégico, sectorial, funcional, y de Base, que sustentan su relación específica con el programa. (EPFAC, 2016, pág. 13)

Es así, como el programa de Maestría en Logística Aeronáutica, en coherencia con las políticas orientadoras del Sistema Educativo de las Fuerzas Armadas SEFA, se convertirá en potencializador de la educación profesional militar y policial, preparándolos para las nuevas responsabilidades a las que se verán enfrentados en los grados siguientes. (EPFAC, 2016, pág. 14)

De igual forma, el Programa de Maestría en Logística Aeronáutica, propenderá por promover en los estudiantes, la capacidad para adaptarse y apropiarse de los cambios científico-tecnológicos y promover su transferencia a contextos locales, también, fomentará la investigación para plantear nuevas alternativas de desarrollo.

Así mismo, abordará problemas disciplinares e interdisciplinares que permitan entender las lógicas, los conceptos y los métodos que subyacen a la formulación de las teorías científicas y la reflexión sobre ellas, en coherencia con la Resolución 2769 de 2003, por la cual, se definen las características específicas de calidad para los programas en Ciencias Exactas y Naturales, al cual pertenecen las ingenierías y, por ende, la Maestría en Logística Aeronáutica. (EPFAC, 2016, pág. 12)

El programa de Maestría en Logística Aeronáutica, impulsa la investigación formativa, la cual favorece el desarrollo del espíritu investigador e innovador de los estudiantes y docentes, incorporando dentro de la práctica pedagógica y el enfoque curricular, actividades orientadas a estructurar actitudes y habilidades investigativas en los estudiantes. Para lo cual se hace necesario orientar la gestión de estudiantes, docentes y directivos en su labor de impulso, fortalecimiento y gestión de la investigación, tanto en la formación para la investigación (creación de nuevo conocimiento) como en la formación en la investigación (enseñar a investigar). (EPFAC, 2016, pág. 42)

Maestría en Seguridad Operacional MAESO

El programa de Maestría en Seguridad Operacional favorezca la creación de nuevos conocimientos a través de la profundización e investigación de saberes propios de la seguridad Operacional, que beneficien la implantación de estrategias y solución de problemas en las Fuerzas y en las organizaciones. (EPFAC, 2016, pág. 9)

La investigación será dinámica y pertinente en función de las temáticas y proyectos que desarrollen en el grupo de investigación y sus respectivas líneas, las cuales responderán al direccionamiento. Estratégico institucional y atención de las necesidades, potencialidades, valores y oportunidades del contexto. De esta manera sus resultados

fortalecerán el propósito misional de la investigación, aportando al desarrollo de la investigación científica y formativa, coherente con las líneas institucionales, que permita el avance del conocimiento, con pertinencia y relevancia, estimulando una relación dinámica entre la Empresa, la Universidad y el Estado, facilitando la apropiación social del conocimiento. (EPFAC, 2016, pág. 37)

Maestría en Dirección y Gestión de la Seguridad Integral MADGSI

Es un programa cuyos aportes y resultados obtenidos, en las investigaciones sobre los diferentes temas, que desarrollen los estudiantes en las líneas de investigación en Sistemas y Modelamiento de la Seguridad Integral y Dirección y Gestión de la Seguridad Integral, contribuirán a la solución de problemas para la protección de los activos vitales e infraestructura crítica y estratégica de las organizaciones públicas o privadas y al mejoramiento de procesos existentes, la productividad, la competitividad y la continuidad del negocio, en este tipo de organizaciones a nivel nacional, regional e internacional. (EPFAC, 2016, pág. 11)

El programa pretende que el estudiante aprenda a construir su propio conocimiento, solucionando problemas de su entorno en general con el propósito de desarrollar habilidades para resolverlos con iniciativa, creatividad, desempeñando un papel protagónico en el diseño de proyectos. De igual forma, para que actúe como un verdadero gestor de cambio en su organización contribuyendo al desarrollo sostenible.

Metodología.

Es una investigación descriptiva, exploratoria, con enfoque cuantitativo, se realizó en tres fases, la primera, una revisión teórica, con el objetivo de contextualizar el sector aeronáutico y los lineamientos de la educación superior para la oferta de programas de maestría en la Fuerza Aérea Colombiana, en la segunda fase se tomaron los resultados de la encuesta de seguimiento realizada a egresados y empleadores por parte de la sección de egresados de la EPFAC, posteriormente, por parte de los autores se realizó una encuesta dirigida a estudiantes y egresados de las maestrías, con el propósito de evaluar la percepción sobre la formación en competencias investigativas y su articulación con el currículo del programa. La tercera fase, consistió en el análisis del impacto de cada programa de maestría con el sector productivo.

Transcurridos 6 años para MACMA y 5 años para MAESO de la formación posgradual a nivel de maestría en la EPFAC en la actualidad se encuentra desarrollando un total de 245 trabajos de grado, donde 123 pertenecen al programa de MACMA, los cuales fortalecen la línea Doctrina Militar y Aeroespacial, 55 al programa MAESO, relacionados a las líneas de investigación de Factores de Material e Investigación Operacional, 45 al programa de MAELA con las líneas de Costos Logísticos y Logística Aeronáutica y de Servicios y por último, 23 al programa de MADGSI, con la línea de Gestión de Activos.

Tabla 2. Proyectos por programas

Proyectos por programa de Maestría por Cohorte	PROGRAMA
MACMA	123
MACMA I	25
MACMA II	20
MACMA III	21
MACMA IV	26
MACMA V	31
MADGSI	26
MADGSI I	15
MADGSI II	11
MAELA	45
MAELA I	9
MAELA II	10
MAELA III	14
MAELA IV	12
MAESO	51
MAESO I	5
MAESO II	16
MAESO III	15
MAESO IV	15
Total general	245

Fuente. Programas Maestrías

Resultados.

Análisis del impacto de las maestrías **Impacto académico**

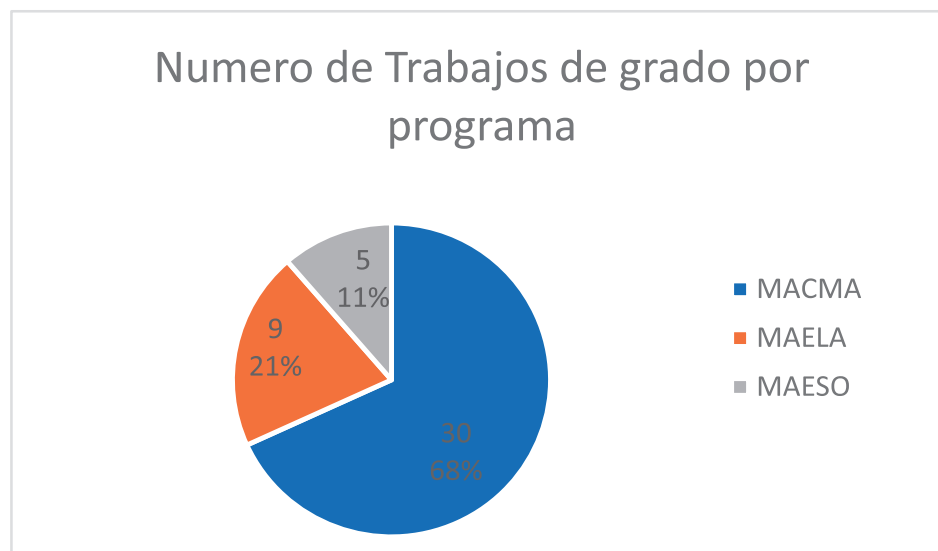
En este aspecto se evalúa como desde el currículo, el modelo pedagógico, las estrategias didácticas y la formación en investigación, las maestrías impactan en el entorno laboral y la realidad social.

Se puede determinar un impacto en el sector aeronáutico con los aportes de cada programa de maestría de la EPFAC a la solución práctica de problemas evidenciados por sus estudiantes en su entorno laboral mediante su trabajo de grado, el cual por política de la IES deben ser direccionados a identificar necesidades en el sector productivo del campo de conocimiento disciplinar de su formación. Esta estrategia de investigación formativa, constituye una relación con el entorno y conecta al estudiante con la realidad profesional, laboral, responsabilidad y pertinencia social, como es el caso del programa en Ciencias Militares.

Tabla 1 Número de trabajos de grado por maestrías.

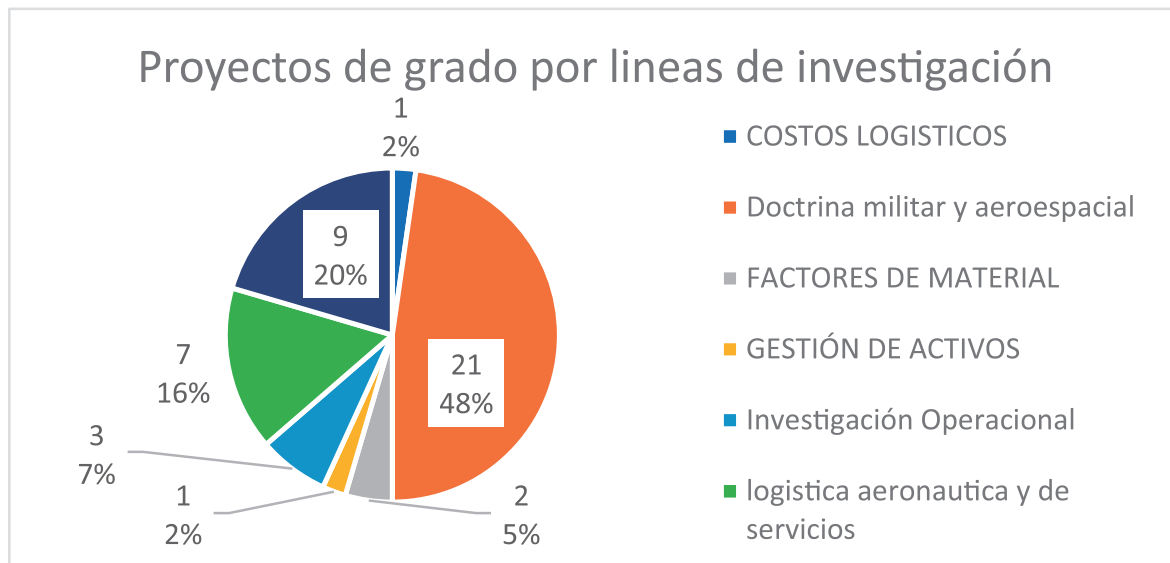
Programa Académico	No. trabajos de grado
MACMA	30
MAELA	9
MAESO	5
Total general	44

Fuente. Escuadrón de Investigación y programas de maestría.



Gráfica 4. Número y porcentaje trabajos de grado por Maestría. Fuente. Programas EPFAC

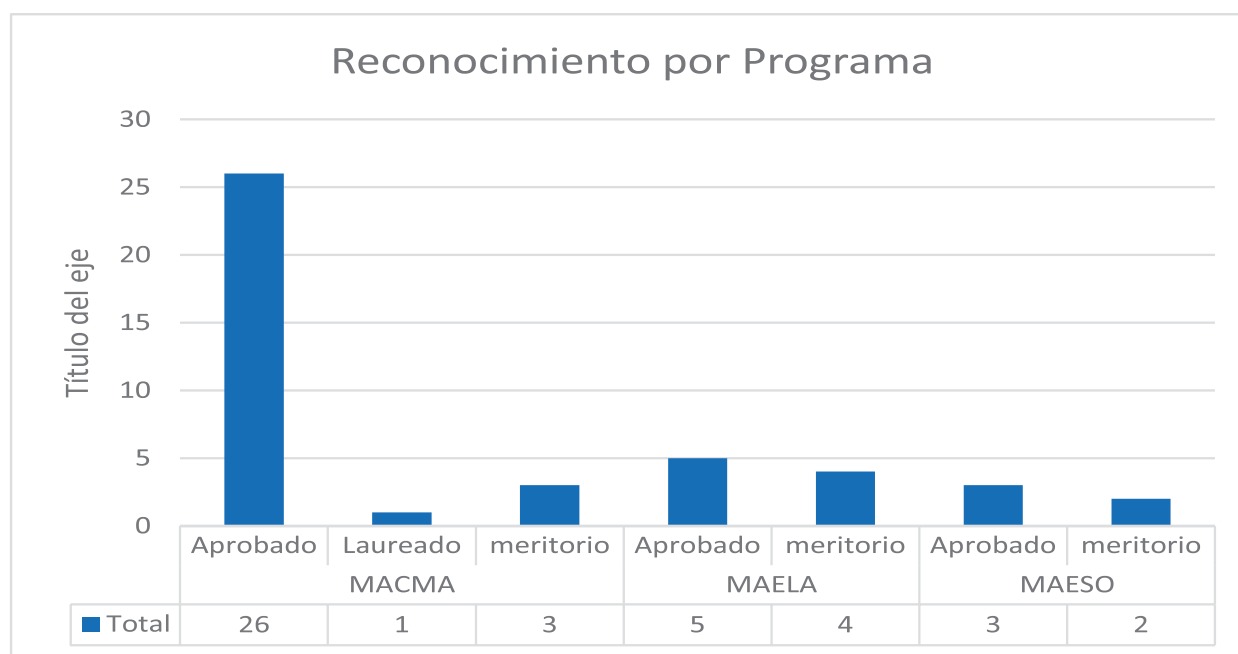
Como se planteó, el total de los trabajos de grado de las maestrías responden a una necesidad del sector Aeronáutico Militar, es por ello, que el aporte de la academia al sector productivo por parte de la EPFAC es del 100%.



Gráfica 5. Proyectos de grado por líneas. Fuente. Programas EPFAC.

Como se puede observar los trabajos están relacionadas con las líneas de investigación, las cuales dan cuenta del impacto directo en diferentes áreas del saber.

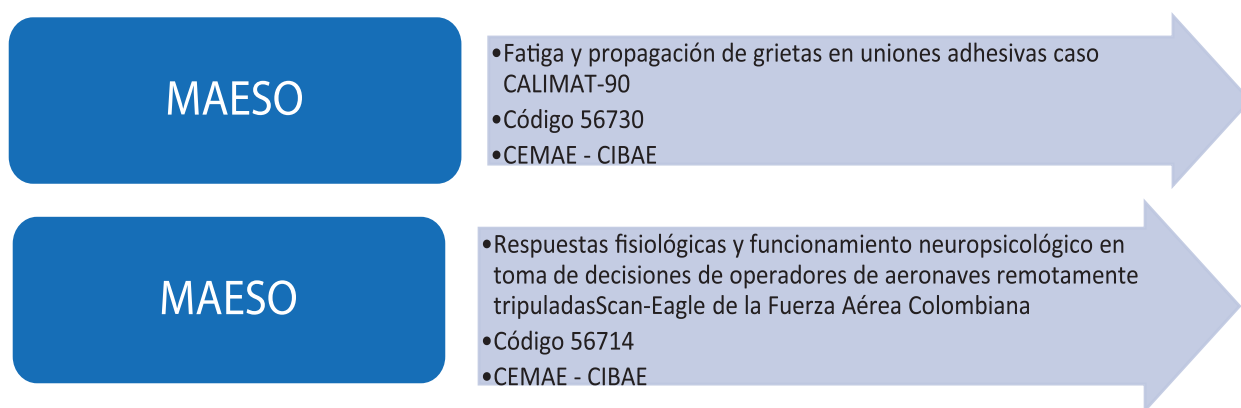
El aporte de los trabajos de grado elaborados por los estudiantes al sector productivo aeronáutico militar es de suma importancia y resultado de los mismos han sido merecedores del reconocimiento académico, en la gráfica siguiente se evidencia el tipo de mención, laureado, meritorio y aprobado,



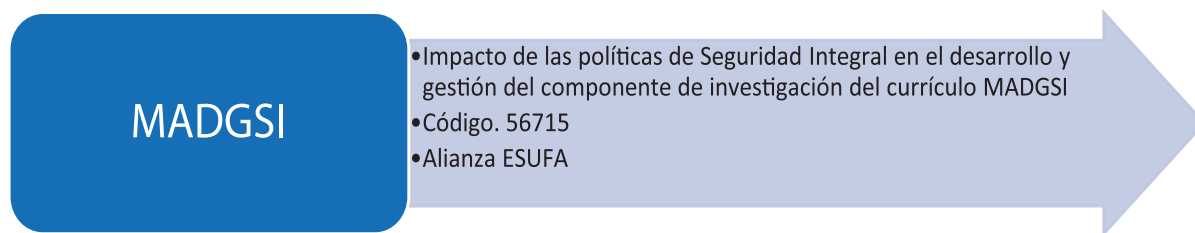
Gráfica 5. Reconocimientos trabajos de grado por maestrías. Fuente. Programas EPFAC

Los programas tienen también como estrategia vincular estudiantes de las maestrías a proyectos de I+D+i formulados por los centros de investigación de la Fuerza o investigadores de los grupos de investigación, dándoles así la oportunidad de aportar desde la investigación al avance científico, tecnológico y productivo de la institución y del país.

Es el caso por ejemplo de los proyectos ejecutados por el CIBAE, Centro de Investigación de Biomedicina Aeroespacial, antiguamente identificado como CEMAE, que participaron en la convocatoria 995-2017 de Colciencias y FAC y el programa de MAESO para la formación del Recurso Humano, con sus trabajos de grado.



Y así mismo el programa de MADGSI participó en la misma convocatoria con el proyecto



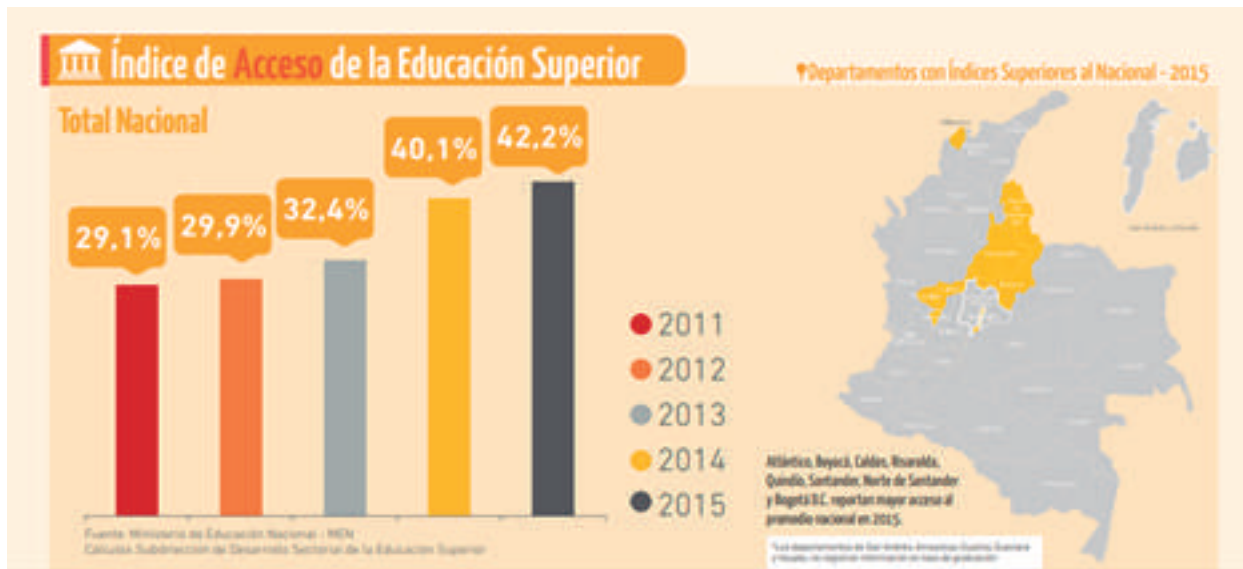
Fuente. Escuadrón Investigación EPFAC

Otro aspecto que puede evidenciar del impacto académico del Programa, es el fortalecimiento y desarrollo de competencias comunicativas, argumentativas e investigativas resultantes de la interacción con otras disciplinas y la puesta en práctica de sus saberes con la participación de su comunidad academia en Actividades de Ciencia, tecnología e Innovación ACTel como ponente y/o asistente a eventos científicos del sector aeronáutico y aeroespacial,

Impacto Socio-económico.

Para el 2015 según los resultados del índice de acceso de la educación superior en Colombia, muestran que menos del 35% de los egresados de un programa de pregrado

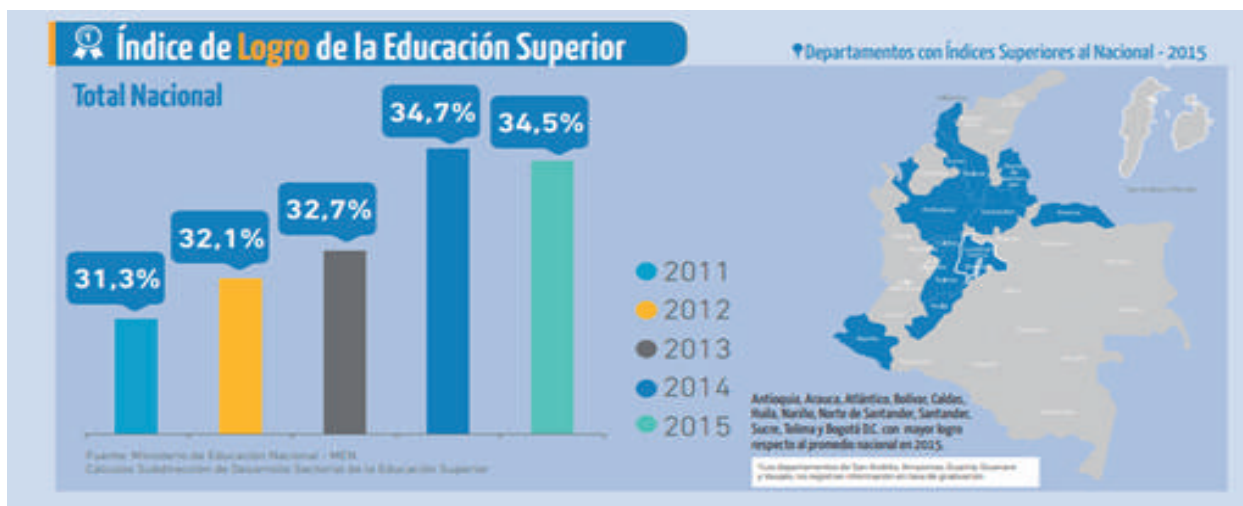
tienen la oportunidad de continuar con su educación posgradual. En la gráfica siguiente puede observarse la tasa de acceso, siendo Bogotá la mas alta. (MEN, 2019)



Gráfica 6.. Índice de acceso de la Educación Superior

Fuente. <https://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles>

Por su parte, frente al logro de la IES para fomentar y promover en el sector disciplinar de su programa oportunidades acceso es aún más bajo, no superando el 35%.

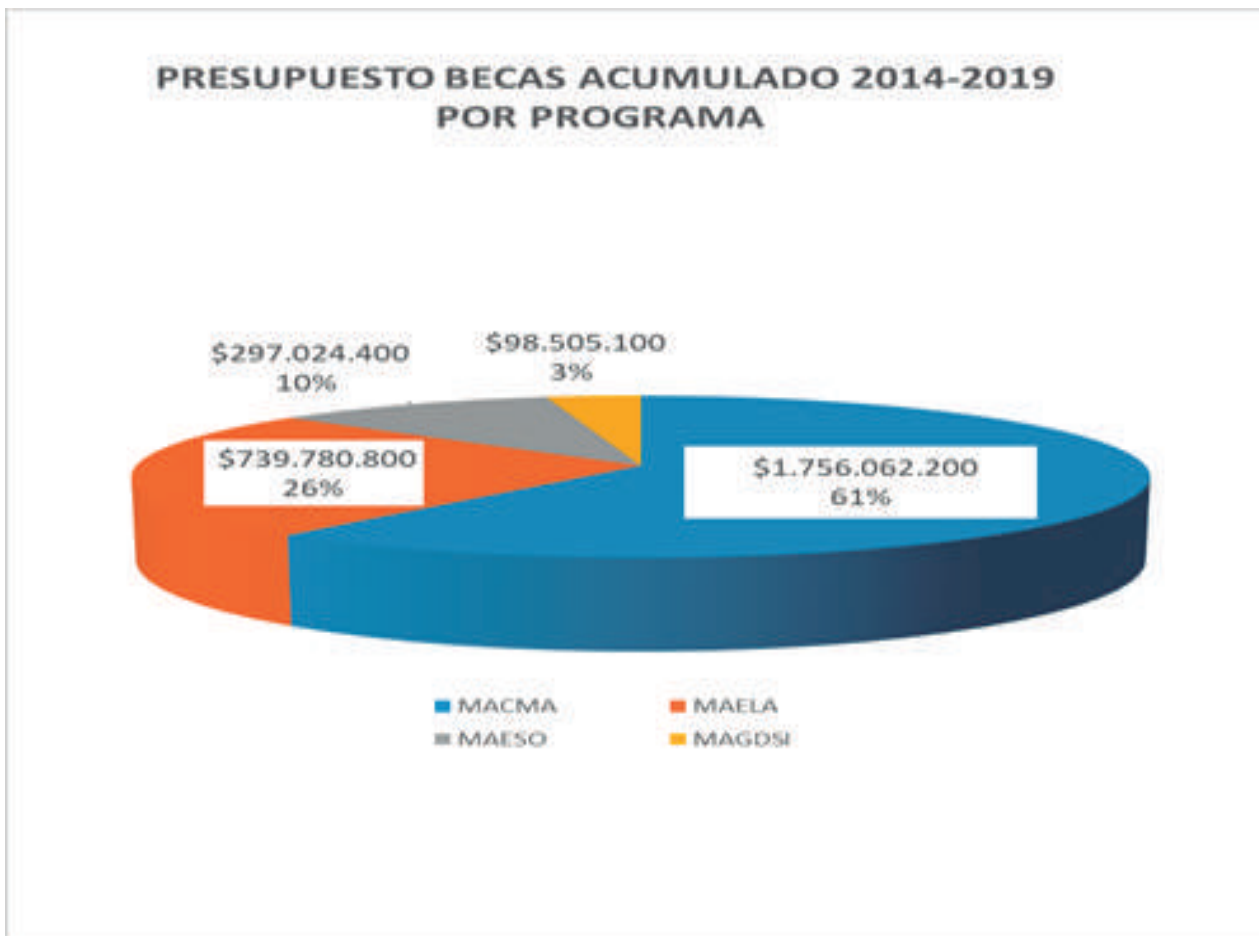


Gráfica 7. Índice de acceso de la Educación Superior

Fuente. <https://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles>

Las maestrías de la EPFAC brindan la oportunidad a una gran parte del sector productivo militar y aeronáutico de acceder a este tipo de programas posgraduales Realizar

estudios en programas de maestrías en Colombia ya sea en universidades publicas o privadas requiere del aspirante asumir costos muchas veces superiores a sus ingresos promedio. La EPFAC dentro de su responsabilidad social, como institución del estado, apoya económicamente en un porcentaje alto mediante becas a la formación del recurso humano, en la gráfica 6 se evidencia el presupuesto asignado a becas de sus estudiantes por programa.



Gráfica 8. Presupuesto becas programas maestrías EPFAC

Fuente. Departamento financiero EPFAC

Como se puede observar en la gráfica anterior, la Escuela de Postgrados ha financiado a la fecha en total a estudiantes de las maestrías en \$2.891.372.500, presupuesto que ha sido entregado a los programas para el apoyo de sus estudiantes en la formación de magister

La maestría de Ciencias Militares MACMA, por ejemplo, el 100% de sus estudiantes cuentan con apoyo total a su formación.

Tabla 3. Línea de tiempo Presupuesto por Programa en Becas por año

Programa/Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019
MACMA	\$90,547,200	\$412,401,400	\$417,817,60	\$531,552,000	\$303,744,000	\$0
MADGSI	\$0	\$0	\$0	\$25,728,300	\$72,776,800	\$0
MAELA	\$0	\$69,293,560	\$126,662,400	\$194,625,080	\$229,555,200	\$119,644,560
MAESO	\$0	\$17,034,000	\$68,372,400	\$107,773,600	\$103,844,400	\$0
Total General	\$90,547,200	\$498,728,960	\$612,852,40	\$859,678,980	\$709,920,400	\$119,644,560

Fuente. Departamento de Desarrollo Humano EPFAC.

Seguimiento a egresados

La EPFAC a través de su sección de egresados realiza seguimiento para evaluar aspectos que permitan determinar el impacto de su formación en sus entornos laborales, económicos y sociales

Durante los años 2018 y 2019 implementó unas estrategias de evaluación, para establecer el nivel de satisfacción del egresado frente a su formación recibida y como ha influido en sus entornos. En la tabla 1. Se muestra las estrategias y el numero de egresados que participaron. (EPFAC, 2019).

Tabla 4. Mecanismos de evaluación de los programas académicos de la EPFAC – egresados

No.	Tipo de instrumento	Propósito del instrumento	Año	Total población de egresados	Total de egresados participantes
1	Encuesta de Autoevaluación	Conocer la apreciación por parte de los egresados en cuanto a la calidad de la formación recibida, así como la valoración de las diferentes funciones sustantivas	2018	86	31
2	Instrumento de seguimiento a egresados y graduados	El objetivo del instrumento es realizar el seguimiento a la población de egresados y graduados de los programas de Maestría que permita identificar aspectos sociodemográficos generales, cumplimiento del perfil de egreso y ocupacional, así como el nivel de satisfacción con el plan de estudios cursado en la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana EPFAC. Lo anterior con el fin de establecer acciones que contribuyan al fortalecimiento del vínculo de los egresados con la Escuela, así como acciones de mejoramiento para el fortalecimiento del programa y de la Institución.	2019	124	59

Fuente. Sección egresados EPFAC

Igualmente aplicaron estrategias con el sector productivo con el propósito de evaluar la pertinencia del programa en el sector.

Tabla 5. Mecanismos de evaluación de los programas académicos de la EPFAC – empleadores

No.	Estrategia	Propósito	Año	Empleadores participantes	Programa
1	Reuniones con empleadores	Identificar las necesidades de los empleadores respecto a la formación impartida por los programas.	2019	3 Inspección General FAC	MAESO
		El objetivo de la reunión fue para definir cuáles son las capacidades que quieren desarrollar en los egresados de la maestría.	2019	3	MACMA
2	Instrumento de análisis curricular bajo Percepción de Empleadores	El objetivo del instrumento es evaluar el desempeño del egresado de los programas de Maestría, lo anterior con el fin de poder establecer acciones de mejoramiento que fortalezcan el currículo del Programa.	2019	8	MAELA

Fuente. Sección egresados EPFAC.

Como resultados en las encuestas frente a las preguntas que se evaluaron se encontró que el nivel de empleabilidad por parte de los egresados de los diferentes programas es del 100%, cabe resaltar que los programas están orientados especialmente al personal de la Fuerza Aérea, dado que son militares oficiales de la institución.

Por parte de los jefes de los egresados se manifiesta la existencia y coherencia de la formación del magister con las necesidades y exigencias del sector productivo.

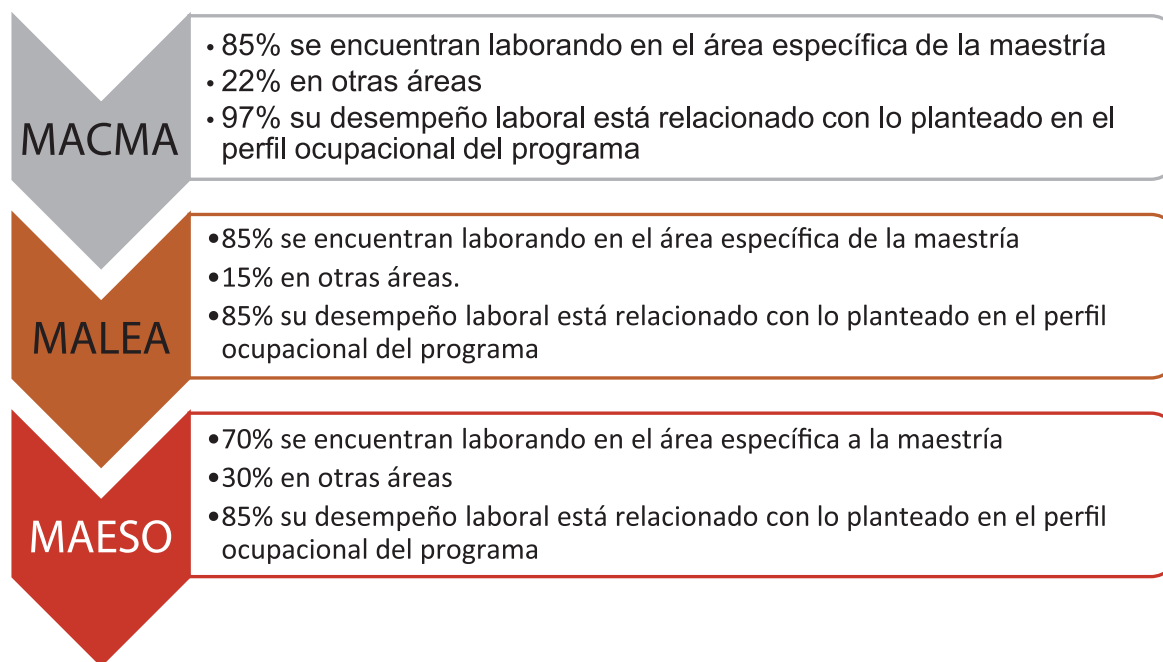
Así mismo se identificó que los egresados de las maestrías, gracias a su formación desempeñan funciones adicionales en áreas de la docencia que les permite apoyar las IES.

Tabla 6. Desarrollo de la línea de empleo a nivel institucional

No.	Cargo desempeñado actualmente	Total de egresados		
		MACMA	MAELA	MAESO
1	Docente	9	0	0
2	Tutor de trabajo de grado	3	3	0
3	Ascenso en cargos	7	5	4
4	Cargos dentro de las Escuelas de formación de la Fuerza	5	1	0

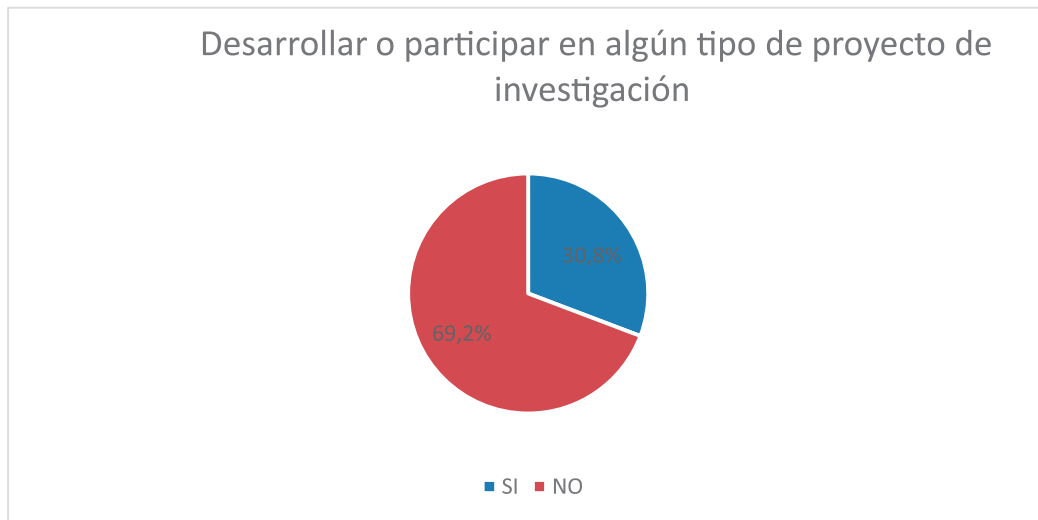
Fuente. Sección egresados

Con relación al trabajo del área de formación, gran porcentaje de los egresados de las maestrías se encuentran laborando en sus áreas funcionales, y un porcentaje mínimo se encuentra en áreas diferentes, pero igual vinculados con la fuerza. No obstante, consideran que el programa si está relacionado con el perfil ocupacional. En la gráfica se muestra la relación por maestría.



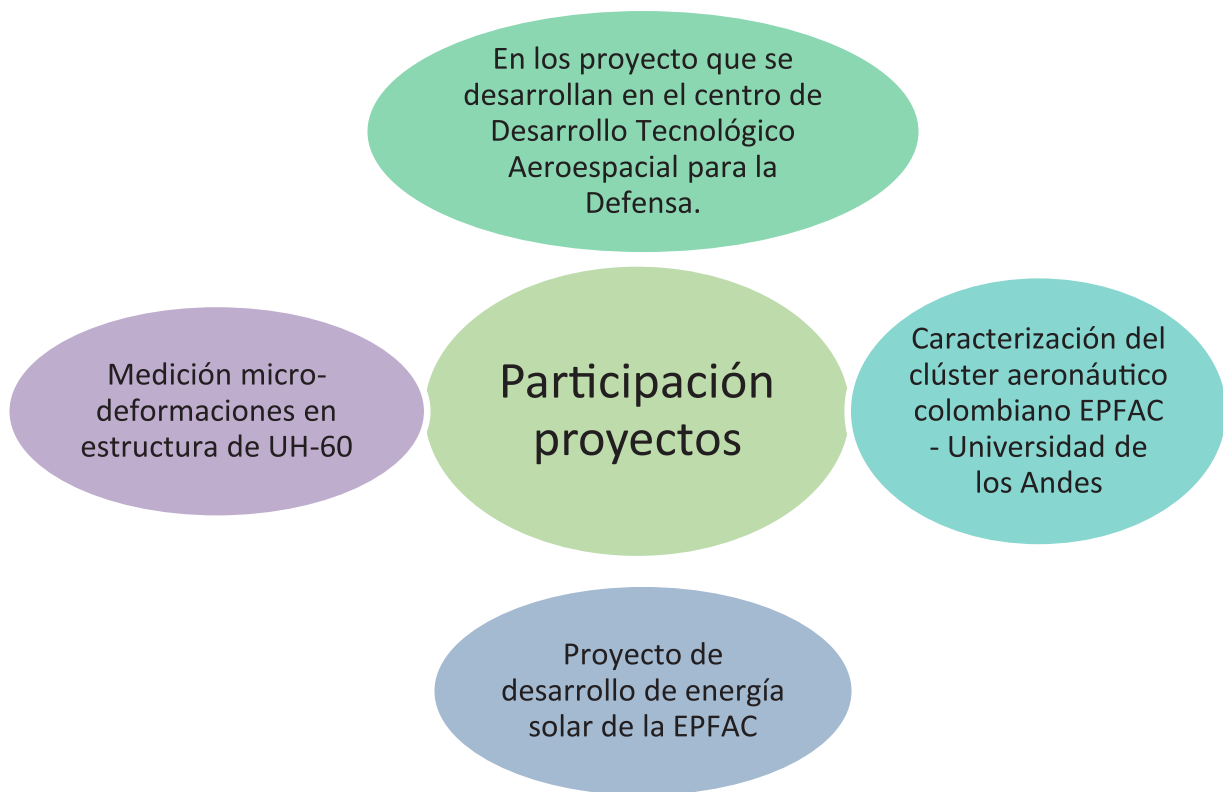
Gráfica 9. Porcentajes perfil ocupacional Fuente. Sección egresados

También la sección de egresados en el 2018 aplicó una encuesta a 13 graduados, relacionada con su participación en proyectos de investigación de la fuerza aérea. Con base en la misma de los que participaron, se puede decir que el 69% han desarrollado o participado en algún proyecto.



Gráfica10. Informe tercer entregable ESINV.
Fuente. Datos Sección egresados EPFAC

En la siguiente gráfica se presenta los proyectos a los cuales el 30.3% de los egresados manifiestan haber pertenecido a un proyecto de la institución.



Gráfica 11. Participación egresados en proyectos institucionales
Fuente. Informe tercer entregable ESINV. Datos Sección egresados EPFAC

Adicionalmente, se realizó por parte de los autores para el escuadrón de investigación de la EPFAC, una encuesta a 50 egresados de las maestrías, de MACMA, MAELA Y MAESO, MADGSI a la fecha no tiene egresados, una de las preguntas se centró a identificar la percepción que tienen frente a su formación en investigación y la posibilidad de la aplicabilidad en el contexto laboral, en resumen, se puede determinar que el 78% de los encuestados consideran que las asignaturas de investigación dictadas en el programa le aportaron y fortalecieron las competencias para estructurar su proyecto de grado. Tomando en cuenta que todos los trabajos realizados por los estudiantes para optar su título deben dar respuesta a una necesidad de la Fuerza, en su proceso, ellos conceptualizan las bases de la estructura para elaborar proyectos de desarrollo e innovación, que una vez estando en sus unidades, pueden identificar problemas y poner en práctica sus saberes.

Este análisis es coherente con los resultados encontrados en la encuesta de egresados analizados en la gráfica anterior, donde se evidencia que algunos de los magister han podido participar en desarrollos de proyectos institucionales.

Impacto Investigación

Productos de investigación

La EPFAC en la actualidad cuenta con 5 grupos de investigación, los cuales uno pertenece al campo disciplinar de cada programa y el Grupo de Investigación CIPAER, por su trayectoria soporta con sus líneas a todas las maestrías. Los resultados que se relacionan posteriormente, corresponden a la producción de los grupos de investigación de la EPFAC que están asociados a los programas de maestrías, y vinculados para la convocatoria 833 de medición y categorización de grupos 2018 de Colciencias se tomó como referente la información registrada en el aplicativo GrupLAC.

A continuación, en las tablas siguientes se presenta en la producción de cada grupo registrada al cierre de la convocatoria 833 de 2018 de categorización de Colciencias

Tabla 7. Producción por Grupo de Investigación según tipología Colciencias CIPAER.

CIPAER / Tipología Colciencias	#	Pr od uct o	%
Productos de actividades relacionadas con la Formación del Recurso Humano para la CTel.	51		23%
Productos resultados de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	127		57%
Productos resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación	25		11%
Productos resultados de actividades de generación de nuevo conocimiento	21		9%
Total general	224		100%

Fuente. ESINV y GrupLAC CIPAER 2019 tomado del informe 3 Alicia Martínez

El porcentaje de producción por parte de los docentes, investigadores y estudiantes de las maestrías vinculados al grupo se orienta a las Actividades de Apropiación Social del Conocimiento, dado que el enfoque de programas profesionalizantes que tienen las maestrías de la EPFAC, les exige formar en competencias investigativas a sus estudiantes y fomentar su participación a eventos científicos académicos con el objeto de socializar, difundir y apropiar el conocimiento mediante experiencias de investigación.

Para el programa de MACMA además de la producción del grupo CIPAER tiene a partir del 2015 el apoyo del Grupo de Investigación en Ciencias Militares Aeronáuticas y Administrativas. GICMA.

Tabla 8. Producción Grupo GICMA de Investigación según tipología Colciencias

GICMA / Tipología Colciencias	# Productos	%
Productos resultados de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	11	79%
Productos resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación	3	21%
Total general	14	100%

Fuente: Programa MACMA 2019. Tomado del informe 3 Alicia Martínez

Y a partir del 2018 con la participación de sus investigadores en el Grupo de investigación Análisis en Contexto

Tabla 9. Producción Grupo de Investigación según tipología Colciencias Análisis en Contexto

Análisis en Contexto/ Tipología Colciencias	# Productos	%
Productos resultados de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	10	72%
Productos resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación	3	21%
Productos resultados de actividades de generación de nuevo conocimiento	1	7%
Total general	14	100%

Fuente. GrupLAC, ESINV Tomado del informe 3 Alicia Martínez

Para el programa MAESO adicional a producción de CIPAER, se cuenta a partir del 2018 con el Grupo de Investigación “CELSO” Cultura, Educación y Liderazgo en Seguridad Operacional

Tabla 10. Producción Grupo de Investigación según tipología Colciencias CELSO

CELSO / Tipología Colciencias	# Productos	%
Productos de actividades relacionadas con la Formación del Recurso Humano para la CTel.	5	28%
Productos resultados de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	11	61%
Productos resultados de actividades de generación de nuevo conocimiento	2	11%
Total general	18	100%

Fuente. GrupLAC Programa MAESO 2019- Tomado del informe 3 Alicia Martínez

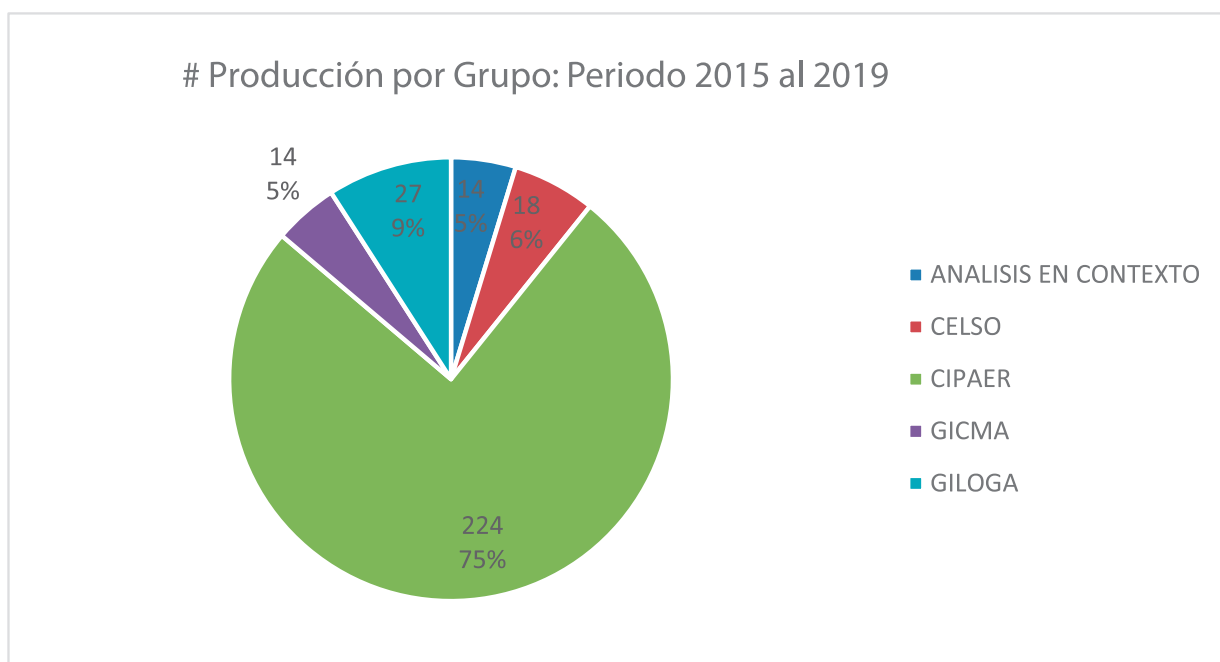
Por su parte, el programa MAELA tiene el apoyo del Grupo de Investigación en Logística y Administración “GILOGA” Datos básicos.

Tabla 11. Producción Grupo de Investigación según tipología Colciencias GILOGA

GILOGA / Tipología Colciencias	# Productos	%
Productos de actividades relacionadas con la Formación del Recurso Humano para la CTel.	4	15%
Productos resultados de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	21	78%
Productos resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación	1	3.5%
Productos resultados de actividades de generación de nuevo conocimiento	1	3.5%
Total general	27	100 %

Fuente. GrupLAC Programa MAELA Tomado del informe 3 Alicia Martínez

En la figura 10 se presenta la producción realizada por cada uno de los grupos, según los investigadores asociados en una línea de tiempo, teniendo presente que las fechas de creación son diferentes, se puede evidenciar mayores resultados en el grupo CIPAER, dado que este hasta el años 2018 era el único que apoyaba a las maestrías, posteriormente se tomó la estrategia resultado de las autoevaluaciones de los programas de crear sus propios grupos disciplinares, sin que ello implique continuar con las líneas plantea por CIPAER.



Gráfica 12. Número y porcentaje de producción por grupo de investigación EPFAC
Fuente Documento entregable 3. Elaboración Propia

Con respecto a la producción registrada por parte de los grupos de investigación de la EPFAC se puede establecer que CIPAER tiene una producción del 75% del total, Análisis en Contexto el 9%, CELSO el 6%, los grupos GILMA y GILOGA el 5%.

Tabla 12. Líneas de tiempo producción por grupo de investigación

GRUPO/AÑO	2015	2016	2017	2018	2019	Total
ANÁLISIS EN CONTEXTO			3	5	6	14
CELSO			6	11	1	18
CIPAER	77	65	28	52	2	224
GICMA				13	1	14
GILOGA			9	13	5	27
Total general	77	65	46	94	15	297

Fuente Documento entregable 3. Elaboración Propia

El programa MADGSI por ser tan nuevo cuenta con el apoyo del grupo CIPAER para vincular a sus investigadores y su producción. En la siguiente tabla se identifica los productos de los investigadores de la maestría.

Tabla 13. Producción por Programa de MADGSI según tipología Colciencias

Productos MADGSI / Tipología Colciencias	Cantidad	%
Productos resultados de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	8	89%
Productos resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación	1	11%
Total general	9	100 %

Fuente Documento Excel. Elaboración Propia, información dada por el ESINV

Para este año 2019 se tomó como estrategia por parte de los programas y liderado por MAELA la generación de un proyecto conjunto Caracterización del clúster aeronáutico colombiano, proyecto que ya tiene producto de una estudiante del programa MAELA.

Se define este concepto de Clúster, según Michael Porter (1998), citado por Christian Sánchez como “el ente integrador que busca la cooperación y colaboración de un grupo de empresas ligadas por actividades e intereses complementarios, vinculadas con instituciones educativas y de investigación, agencias gubernamentales y otras instituciones

para mejorar la competitividad de sus actividades que se nutren en una zona geográfica” (EPFAC, 2017, pág. 15)

Reconocimientos de los egresados y estudiantes de las Maestrías.

Algunos de los egresados de las maestrías han contribuido con sus investigaciones a conocimientos científicos del país, es el caso del Mayor Juan Miguel Castro Herrera quien artículo su trabajo de grado con la investigación en la Expedición de la Antártida, según su escrito “durante el trayecto y al llegar a la Antártica el 14 de febrero, como Oficial Médico, tenía la misión de realizar estudios sobre la fisiología y comportamiento humano en ambientes extremos, teniendo en cuenta la experiencia del Centro de Medicina Aeroespacial de la Fuerza con sus líneas de investigación en factores humanos para el desarrollo de operaciones militares. Este proyecto que además de adquirir conocimiento, permitió compartir modelos y protocolos de gran valor para la comunidad científica” (Castro, 2015)



<https://www.incorporacion.mil.co/expedici%C3%B3n-favor-de-la-humanidad-programa-ant%C3%A1rtida-2014-2035>

La Capitán María Alejandra Charry, egresada del programa de MAESO y quien es la primera mujer en ser piloto de un helicóptero Black Hawks, en la celebración de los 100 años de la Fuerza Aérea Colombiana fue merecedora del reconocimiento por parte del señor presidente Iván Duque Márquez .



Fuente. <https://www.semana.com/nacion/articulo/100-anos-fac-maria-alejandra-charry-primera-mujer-en-pilotear-un-black-hawk/591824>

Por su parte, la Subteniente Jeimmy Nataly Buitrago Leiva, estudiante de la maestría en Logística Aeronáutica MAELA, viajó a Polonia en el mes de mayo 2019 “14º Seminario Europeo de Investigación (ERS) que se celebró en Varsovia, a exponer su artículo titulado “Impacto del clúster Rionegro-Antioquia Colombia en sus cadenas de suministro” para su presentación en ERS.



Fuente:<https://www.incorporacion.mil.co/epfac-participó-en-seminario-europeo-de-investigación-en-polonia>

Conclusiones

- Los programas de Maestría de la Fuerza Aérea Colombiana, en su corta trayectoria, teniendo en cuenta que recién entran al proceso de renovación de registro calificado han tenido un alto impacto en el sector aeronáutico militar, entregando a la comunidad académica y laboral individuos formados con fundamentos y conciencia de su responsabilidad laboral, social y con el país.
- Según las evidencias presentadas en este documento, el egresado de la EPFAC transfiere a su contexto laboral sus conocimientos buscando soluciones a las necesidades y poniendo en práctica sus competencias profesionales.
- Finalmente se puede inferir que los programas de maestría ofrecidos por la EPFAC logran el propósito académico en la formación de un buen ciudadano competente y que participa en procesos de I+D+i y se desarrollan en su campo laboral con ética y responsabilidad.

Referencias

- Castro, J. (13 de 04 de 2015). *www.incorporacion.mil.co*. Obtenido de <https://www.incorporacion.mil.co>: <https://www.incorporacion.mil.co/expedici%C3%B3n-favor-de-la-humanidad-programa-ant%C3%A1rtida-2014-2035>
- Colciencias. (02 de 2008). Documento. Colombia construye y siembra futuro . *Política Nacional como fomento a la investigación e innovación Colciencias febrero 2008*. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: Colciencias.
- Colciencias. (2017). Modelo de medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación y de reconocimiento de investigadores del Sistema Nacional de Ciencia ,Tecnología e Innovación año 2017. *Tipología de los productos*. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: Colciencias.
- DANE. (08 de 10 de 2019). *www.dane.gov.co*. Obtenido de www.dane.gov.co: <http://www.dane.gov.co>
- EPFAC. (2012). *Plan Estratégico de la Base Instituto 2011 - 2030*. Bogotá D.C: Fuerza Aérea.
- EPFAC. (16 de 06 de 2016). Proyecto educativo de programa Maestría en Ciencias Militares . Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia : EPFAC.
- EPFAC. (16 de 06 de 2016). Proyecto Educativo de Programa Maestría en Ciencias Militares Aeronáuticas. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: EPFAC.
- EPFAC. (16 de 06 de 2016). Proyecto Educativo de Programa Maestría en Logística Aeronáutica. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia : EPFAC.
- EPFAC. (16 de 06 de 2016). Proyecto Educativo de Programa Maestría en Seguridad

Operacional. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: EPFAC.
EPFAC. (31 de 08 de 2016). Proyecto Educativo del Programa de Maestría en Dirección y Gestión de la Seguridad Integral. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: EPFAC.
EPFAC. (2017). Ecosistemas productivos para la conformación de clústeres. *Memorias Congreso Internacional de Logística Aeronauta*, 15.
EPFAC. (2019). *Condición 13 Documento Maestro Registro Calificado MAELA*. Bogotá D.C: EPFAC.
EPFAC. (2019). *Documento Maestro Programa de Egresados MAESO*. Bogotá D.C: EPFAC.
EPFAC. (2019). *Documento Maestro Programa de Egresados MACMA*. Bogotá D.C: EPFAC.
EPFAC. (2019). *Documento Maestro Programa de Egresados Maestría en Ciencias Militares* . Bogotá D.C: EPFAC.
EPFAC. (2019). *Documento Maestro Programa de Egresados Maestría en Seguridad Operacional* . Bogotá D.C: EPFAC.
EPFAC. (2019). *Documento Maestro Programa de Egresados Maestría en Seguridad Operacional*. Bogotá D.C: EPFAC.
FAC. (2011). *Plan Estratégico Institucional 2011-2030*. Bogotá D.C: Fuerza Aérea Colombiana.
FAC. (2011). *Plan estratégico Institucional de la FAC*. Bogotá D.C: FAC.
FAC. (2014). *Sistema Educativo de la Fuerza Aérea Colombiana* . Bogotá D.C: FAC.
Martinez, A. (2019). *Informe Tercer Entregable*. Bogotá D.C: ESINV EPFAC.
MEN. (24 de 08 de 2019). *mineducacion.gov.co*. Obtenido de www.mineducación.gov.co: Fuente. <https://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articulos>
MINEDUCACION; MINDEFENSA. (2017). Marco Nacional de Cualificaciones Colombia. Bogota D.C, Bogota D.C, Colombia .
Ministerio de Defensa Nacional. (2010). *Lineamientos Curriculares Fuerzas Militares SEFA*. Bogotá D.C: FFMM.
Orozco, A. (2014). Impacto social y académico del programa interacción social y desarrollo ciudadano en tres localidades del Departamento del Atlántico. *psicogente* , 476.



CAPITULO 3

ANÁLISIS DE CAPACIDADES DEL CLUSTER AEROESPACIAL COLOMBIANO. CAESCOL

Como citar este Capítulo

Buitrago, J; Moncada, Ál; Rodríguez, J. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos caracterización del clúster aeronáutico colombiano- caso clúster aeroespacial colombiano CAESCOL. Rionegro- Antioquia. En A. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.

Análisis de capacidades del cluster aeroespacial colombiano. CAESCOL

*Jeimmy Nataly Buitrago Leiva
Álvaro Fernando Moncada Niño
Julio Rodríguez Pirateque*

*Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, Maestría en Logística Aeronáutica,
Edificio CT. José Edmundo Sandoval, Carrera 11 No. 102 -50, Bogotá D.C., Colombia*

Resumen

Este artículo presenta una caracterización del clúster aeroespacial de Rionegro, basado en la teoría de recursos y capacidades y centrado en las capacidades de innovación tecnológicas de gestión y de asociación, las cuales han sido consideradas como esenciales en el desarrollo de estos. Mediante entrevistas en profundidad a expertos y encuestas a los diferentes actores, se determina el nivel de desarrollo de cada una de las capacidades en las empresas integrantes del clúster con el propósito de establecer su nivel de competitividad y potencial para el acceso a los mercados locales e incorporación en cadenas de globales dentro de esta industria.

La investigación evidencio la necesidad de: i) especializar y desarrollar procesos de sofisticación de los productos y servicios ofrecidos al mercado; ii) adaptar procesos y tecnologías a estándares y prácticas certificadas; iii) desarrollar vínculos productivos entre los actores del sector a través de la innovación, la investigación, el emprendimiento y la transferencia de conocimiento; iv) promover el desarrollo integral del capital humano; v) establecer mecanismos para articular y consolidar la gobernanza entre los actores del clúster, permitiendo de esta forma el aprovechamiento de la oportunidad latente en la atención de la creciente demanda de equipos y las necesidades insatisfechas en servicios y productos de esta industria a nivel global.

Palabras claves:

Clúster Aeroespacial, Competitividad, Industria Aeronáutica, Capacidades, Alianza Estratégica.

Abstract

This paper presents a characterization of the Rionegro aerospace cluster, on a resource-based view (RBV) and focused on innovation, technology, management and partnership capabilities; which have been essential in the development of these resources. Through depth interviews with experts and surveys of the different actors, the level of development of each of the capacities in the cluster's member companies is determined in order to establish their level of competitiveness and potential for the access to local markets and incorporation into global chains within this industry.

This research demonstrated the need to: i) specialize and develop processes of sophistication of the products and services offered to the market; ii) adapt processes and technologies to certified standards and practices; iii) develop productive links between actors in the sector through innovation, research, entrepreneurship and knowledge transfer; iv) promote the integral development of human capital; v) establish mechanisms to articulate and consolidate governance among cluster actors, thus enabling the use of latent opportunity in the care of the growing demand for equipment and unmet needs in services and products of this industry globally.

Keywords:

Cluster, Competitiveness, Aerospace Sector, Colombia, RBV Capabilities, Strategic Alliance.

Introducción

La industria aeronáutica es uno de los sectores económicos en crecimiento debido a la demanda e impacto que ha mostrado en los últimos años, tanto a nivel local como global. Según AeroStrategy (2009), en ese año el sector a nivel global generaba más de 450 mil millones de dólares y una fuente de empleos especializados, así como un conjunto de actividades estrechamente ligadas al desarrollo de nuevas tecnologías, lo que contribuye a impulsar la actividad innovadora y generar mayor valor agregado a lo largo de su cadena productiva, especialmente en la medida que se participa en el diseño y manufactura de partes y sistemas de avión más complejos (Secretaría de Economía Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología México, 2012). En cifra más recientes,

según estudio de la industria aeroespacial y de defensa (A&D), realizado Deloitte (2018) “los ingresos globales crecieron 2.7% o US \$ 18.3 mil millones en 2017 para llegar a US \$ 685.6 mil millones. La tasa de crecimiento de 2.4% en 2016, pero fue más lento que el crecimiento estimado del PIB 2017 de 3.1%” (p.01).

De igual manera, esta evolución del sector aeronáutico se ha visto reflejada en Colombia, como una de las prioridades de impacto económico, social y ambiental que apunta de manera directa un futuro potencial en la región y a nivel de Latinoamérica.

De acuerdo con Aerocivil (2018a), en el ranking de crecimiento del transporte aéreo internacional, Colombia está ubicado en el cuarto lugar. Buena parte de esta cifra se soporta en el incremento del número de pasajeros y volumen de carga en los aeropuertos de: El Dorado (Bogotá), José María Córdoba (Rionegro) y Alfonso Bonilla Aragón (Cali), que por su estratégica posición geográfica permite la conectividad con Latinoamérica, Norteamérica, Europa y Asia en situación similar a Panamá y Perú en esta parte del continente.

Proyectando el crecimiento del sector, el municipio de Rionegro (Antioquia), se ha consolidado como una región atractiva y de influencia para el desarrollo de la triada: Empresa-Universidad-Estado como fundamento del sector aeronáutico y aeroespacial colombiano. Condición particular que ha propiciado la realización de esfuerzos, algunas veces atomizados, con el propósito de fortalecer y consolidar esta industria y proyectar a la región como uno de los escenarios para generar el segundo Aeropuerto Ciudad-Región, que fortalezca las capacidades empresariales, tecnológicas, de innovación y asociatividad del Clúster Aeroespacial Colombiano para convertirse en un referente regional y global de la industria aeronáutica y aeroespacial.

El informe “Desarrollo productivo del sector aeronáutico” elaborado por el Departamento de Planeación DNP (2017) muestra el potencial estratégico y económico de los clústeres para el desarrollo del país y señala en particular, las grandes oportunidades existentes en el desarrollo de productos aeronáuticos de valor agregado y alta sofisticación orientado al mercado nacional e internacional. También identifica que las oportunidades y desafíos de los retos del sector aeronáutico son:

1) El aprovechamiento de la firma de numerosos Acuerdos de Servicios Aéreos (ASA) y Acuerdos de Cielos Abiertos (ACA) para el crecimiento permanente de operaciones

aéreas a futuro. Actualmente, se encuentran en estudio 6 Acuerdos de Servicios Aéreos (ASA) con Sudáfrica, Australia, Jamaica, Barbados, México, y Corea del Sur.

2) La insuficiencia de profesionales, técnicos y tecnólogos en ingeniería Aeronáutica para la atención de la demanda

3) El mejoramiento de la gestión corporativa orientada a la creación de valor de la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC) como líder que mueva la industria aeronáutica nacional, mediante: i) implementación de buenas prácticas internacionales; ii) flexibilización gerencial que faciliten la gestión dinámica de la empresa.

4) Adecuación de las políticas de gestión del talento humano de las industrias del sector limitan su competitividad.

5) La desarticulación de las empresas conformantes de los clústeres, que limitan los potenciales beneficios, dado que: i) no han logrado unir fuerzas y capacidades para proporcionar soluciones a las demandas de productos que exigen los clientes potenciales; ii) presentan debilidades las capacidades productivas, el bilingüismo y sofisticación de su maquinaria

6) La mayoría de la producción nacional de bienes para esta industria no está certificada en los estándares de calidad requeridos, lo cual se refleja en los siguientes aspectos: i) pocos proveedores nacionales de insumos especializados están certificados en normas para sistema de Gestión, aeronavegabilidad, piezas y componentes y ii) En la mayoría de los casos, no es posible certificar los productos en el país, lo cual hace que el proceso se realice costos mucho más altos.

7) Existe una debilidad en la infraestructura de la calidad, debido a que el desarrollo institucional del Sistema de Calidad de Colombia no brinda las herramientas suficientes, dado que: i) la Organización Nacional de Acreditación en Colombia- ONAC, no está reconocido internacionalmente para acreditar certificadores que puedan certificar a las empresas en los estándares de calidad que requiere el sector y ii) no hay trazabilidad en todas las mediciones que requiere el sector.

Marco Teórico

Como concepto de clúster, el presente documento remite a la definición utilizada en 1979 por el profesor de la Universidad de Harvard Michael Porter, el cual elaboró un modelo que analiza la competitividad de una empresa en la industria con el fin de proponer un modelo de negocio (Montañez, 2017).

Este concepto, es entendido como el trabajo en conjunto entre la universidad, la aca-

demia y el estado en pro de un sector económico; el mismo autor, citado en el libro “Iniciativas de clúster en Colombia” (Innpulsa, 2018) señala que un clúster es un grupo de compañías y asociaciones interconectadas, geográficamente próximas, que desarrolla un sector industrial similar, y que está ligado mediante relaciones verticales (comprador-vendedor) u horizontales (clientes, tecnología, canales comunes).

Los resultados esperados son: el aumento de la productividad, el estímulo a la innovación, la tendencia a la exportación, la diversificación de las empresas establecidas, la concentración de trabajadores, la concentración del conocimiento y la acumulación de capital social, a través de los efectos secundarios de reducción de los costos de transacción (Porter, 1998; CID, 2012). Finalmente, para efectos de esta investigación “*Los clústeres son concentraciones geográficas de empresas e instituciones interconectadas que actúan en un determinado campo y tienen características y externalidades comunes*”. (Porter, 1998, p.19).

En materia de competitividad y referente teórico se remitió al trabajo desarrollado por Michael Porter, a continuación, se muestra un diagrama de estrategia competitiva, que hace parte de los aspectos importantes utilizados en esta investigación.



Figura 1 - Diagrama de estrategia competitiva. M. Porter. (1980). Estrategia competitiva

La historia de este fenómeno ha tenido su origen desde la implementación del mismo desde hace casi 100 años, donde se estaba presentando que las empresas de un mismo sector, de sectores relacionados y de apoyo se concentran en una misma área geográfica, esta situación había recibido múltiples nombres, hasta que Michael Porter, populariza el término de clúster, que tiene como objetivo maximizar la competitividad y los éxitos empresariales aprovechando las oportunidades en las redes y cadenas de valor de los

productos, mostrando resultados de casos de éxito en su implementación, como por ejemplo, en el sector aeronáutico, Querétaro, se convirtió en uno de los más grandes representantes. Forbes menciona que: “Querétaro, es el orgullo aeronáutico de México, siendo el cuarto destino en el mundo más importante para dicha industria, solo por debajo de Singapur, Dubái y Bangalore”, según información de la entidad. (Celis, 2018).

De acuerdo con la página Red Clúster Colombia “La cercanía de las empresas generan competencia, que es un factor clave para la innovación; al mismo tiempo que facilita el acceso a insumos y a conocimientos específicos dependiendo del sector” (Red Clúster Colombia, 2018). En ella se afirma que: Las regiones con clústeres más densos y desarrollados logran mejores resultados económicos, así mismo, varios países han invertido esfuerzos y recursos para volver a sus clústeres más productivos y competitivos. Estos esfuerzos son también conocidos como Iniciativas clúster, buscan implementar agendas de ciencia, tecnología e innovación, solucionar iniciativas de capital humano, resolver problemas de infraestructura específica, establecer estándares y normativas relevantes para el sector, entre otros objetivos, casi siempre recurriendo a trabajos colaborativos entre el sector privado y público. (p. 7).

Las capacidades tecnológicas, de innovación, de gestión y de asociación

De acuerdo a Grant (2016), la estrategia se ocupa de hacer coincidir los recursos y capacidades de una empresa con las oportunidades que surgen en el entorno externo (p.103), mencionando que la base de la estrategia tiene dos componentes fundamentales: los recursos y las capacidades, que son los resultados de dos factores: el primero de ellos refiere a que los recursos y capacidades internas de una organización deben convertirse en un soporte seguro para formular una estrategia mientras que el segundo, se basa en la ventaja competitiva, como la fuente principal de una rentabilidad superior. Por lo tanto, los recursos y las capacidades se convierten en la base de la estrategia de la empresa.

En el contexto de las cinco fuerzas de Porter, menciona que lo llamativo de la industria a menudo se deriva de la propiedad de los recursos estratégicos. La primera etapa en el análisis de recursos y capacidades es identificar los recursos y capacidades de la empresa - o, de hecho, de cualquier organización. Es importante distinguir entre los recursos y las capacidades dinámicas de la empresa: los recursos son los activos productivos de la empresa mientras que las capacidades son lo que la empresa puede hacer. Los recur-

Los individuos no confieren ventajas competitivas; deben trabajar juntos para crear capacidad organizativa. La capacidad es la esencia de un rendimiento superior (Grant, 2016).

En la siguiente figura se muestra las relaciones entre recursos, capacidades y ventaja competitiva.



Figura 2 - Recursos, capacidades y ventaja competitiva (Grant, 2006)

En referencia a la gráfica, "por recursos entendemos los activos productivos de la empresa; las capacidades aluden a lo que la empresa puede hacer. Los recursos por sí sólo no generan ventaja competitiva: deben trabajar conjuntamente para crear una capacidad organizativa; esencia de resultados superiores" (Grant, 2016, pág. 187) El propósito es identificar aquellas capacidades que pueden proporcionar una base para una ventaja competitiva. Para ello, es importante saber determinar y clasificar esas capacidades, pero antes, la organización debe tener una visión global de todas sus capacidades organizativas. Para poder identificar esas capacidades "distintivas" o "centrales".

Metodología

La presente investigación realizó un estudio de caracterización del Clúster aeroespacial de Rionegro CAESCOL, basado en una metodología mixta (cuantitativa y cualitativa), descriptiva-exploratoria, argumentada a través de entrevistas con expertos identi-

cados en el mapa de actores; posteriormente, se elaborará un diagnóstico y levantamiento de información a través de herramientas, con el objetivo de buscar problemáticas del crecimiento del clúster y como solución, proponer alinear un plan de mejoramiento competitivo basado en el Fortalecimiento y consolidación de las capacidades de gestión, tecnológicas, de innovación y de asociación.

Se obtuvo información de fuentes primarias a través de antecedentes históricos, entrevistas prácticas y encuestas, que se puedan realizar con el fin de determinar e investigar el proceso de la dinamización del clúster en esta región que impulsa el sector aeronáutico y aeroespacial.

Las fuentes más relevantes son: las entrevistas y encuestas realizadas a los actores principales identificados, los documentos normativos para la regulación de políticas en el sector aeronáutico y aeroespacial en Colombia, documentos gubernamentales sobre el desarrollo productivo en Colombia, se remitirá a fuentes primarias y secundarias para el desarrollo del presente trabajo.

El proceso de desarrollo del estudio se inicia con la identificación de las 36 Instituciones que se consideran como representativas del sector industrial y que colaboran indirecta o directamente al Clúster Aeroespacial Colombiano, de las cuales se toma una muestra de veinte, las cuales, mediante visitas de campo, entrevistas y encuestas, se logra determinar un perfil en materia de estrategia de negocios, objetivos de crecimiento, investigación y desarrollo, estrategias de cadenas productivas, políticas de calidad, certificación aeronáutica y productividad competitiva. Así mismo se verifico los perfiles de los actores correspondientes a las instituciones que tiene relación con el clúster como: colaboradores de aerolíneas, servidores públicos, funcionarios de planeación, gerentes, directores de mantenimiento, operativos, aviación comercial y pública y Universidades.

Con base en los análisis de estos factores se realizó una caracterización de las capacidades y los roles de los actores del clúster aeroespacial de Rionegro, posteriormente se aplicaron las herramientas de recolección de información de tipo cuantitativo y cualitativo (encuestas y entrevistas), con el fin de identificar los componentes estructurales y funcionales del clúster aeroespacial colombiano, basado en las capacidades empresariales, tecnológicas, de innovación y de asociación.

Actualmente, el clúster cuenta con 14 Entidades dentro de su organización y asamblea de socios, sin embargo, se hallaron 36 instituciones que participan o han establecido alguna relación comercial, académica y gubernamental con el clúster. Para el desarrollo de la presente investigación, se escogieron a los actores principales y representativos en la Triada: Universidad- Empresa y Estado que conforman el clúster

Se realizó un levantamiento de información con los datos más relevantes de cada una de las empresas pertenecientes al clúster, escogiendo a 14 empresas para realizar las encuestas, durante las fechas 08 y 13 de febrero del 2019.

La presente investigación utiliza instrumentos para la recolección de información, los cuales pasaron por un proceso de verificación y se obtuvieron resultados a través de visitas de campo, entrevistas y encuestas. Así mismo, se contó con el apoyo permanente de los clústeres de Querétaro y Baja California ubicados en México.

Se desarrollaron mesas de trabajo en conjunto con los investigadores de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana y la Universidad de los Andes, para la elaboración, estructuración y consolidación de las preguntas correspondientes a las entrevistas y encuestas, durante el transcurso del segundo semestre del 2018 y los primeros meses del año 2019. En el transcurso de las reuniones realizadas, se concretaron revisiones bimensuales donde se verificaba y evaluaba los avances de los instrumentos, así mismo, para su validación, se realizaron comparaciones con ejemplos de entrevistas aplicados en el sector aeronáutico, utilizando modelos de referencia y preguntas claves con el objetivo de captar información precisa y completa para el posterior análisis de la información. Finalizado este proceso, se realizaron pruebas piloto por parte de los investigadores de ambas instituciones y de algunas personas externas, que ampliaron y aportaron significativamente a la estructuración de los instrumentos finales.

Análisis de Información

Con el fin de compilar los diferentes aspectos y puntos de vista de los diferentes actores del sector en la región de Rionegro, se entrevistaron y encuestaron a los actores más representativos, mediante los cuales se obtuvo información de los factores relevantes de competitividad: Capacidad Tecnológica, capacidad de innovación, capacidad de gestión y capacidad de asociación. De las empresas entrevistadas, se obtuvo respuesta de 6 compañías, que corresponde a un 54,54% del total de las 11 empresas escogidas pertenecientes al clúster aeroespacial de Rionegro.



Figura 3 - Años de experiencia de las empresas del Clúster – Elaboración propia.

El análisis de la antigüedad de las empresas participantes en el clúster muestra un promedio de 8.2 años, lo cual se refleja en un tiempo adecuado para el desarrollo de la curva de aprendizaje y conocimiento.

¿Cuál es la competencia distintiva (core business) de su organización?

Porcentaje frente a las competencia distintiva (core business) de 06 empresas del Clúster de Rionegro

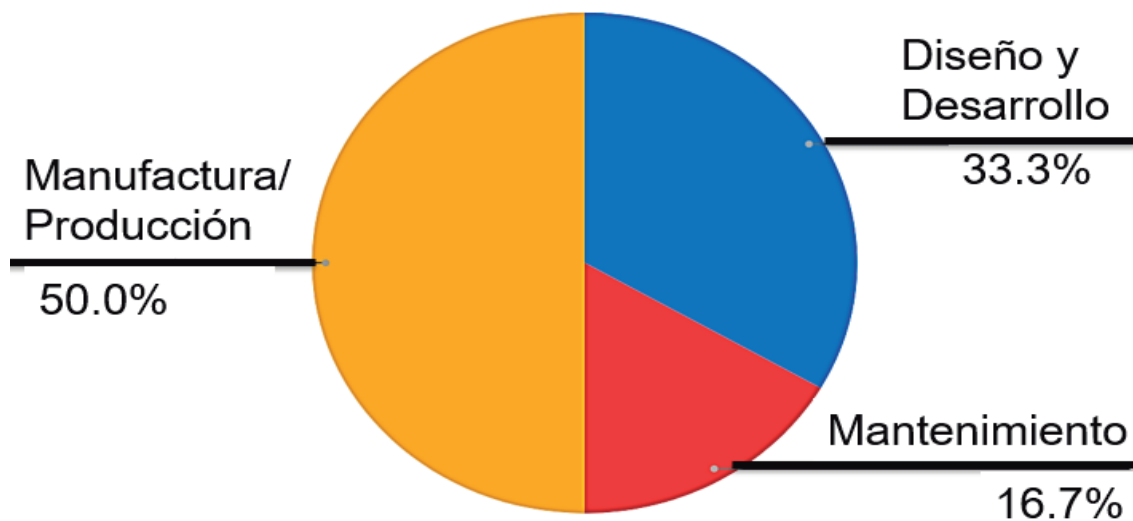


Figura 4 - Porcentaje frente a las competencias distintivas. Elaboración propia.

Lo cual arroja que la capacidad que más sobresale en las empresas es la manufactura y producción, seguida en menor proporción por el diseño y desarrollo, lo que muestra aun la fuerte orientación al desarrollo de producto y en menor proporción a los servicios, como se aprecia en la figura 4.

Pregunta: ¿Las capacidades actuales y potenciales del sector industrial en el que se encuentra deben enfocarse a cumplir qué roles dentro de la industria aeronáutica?

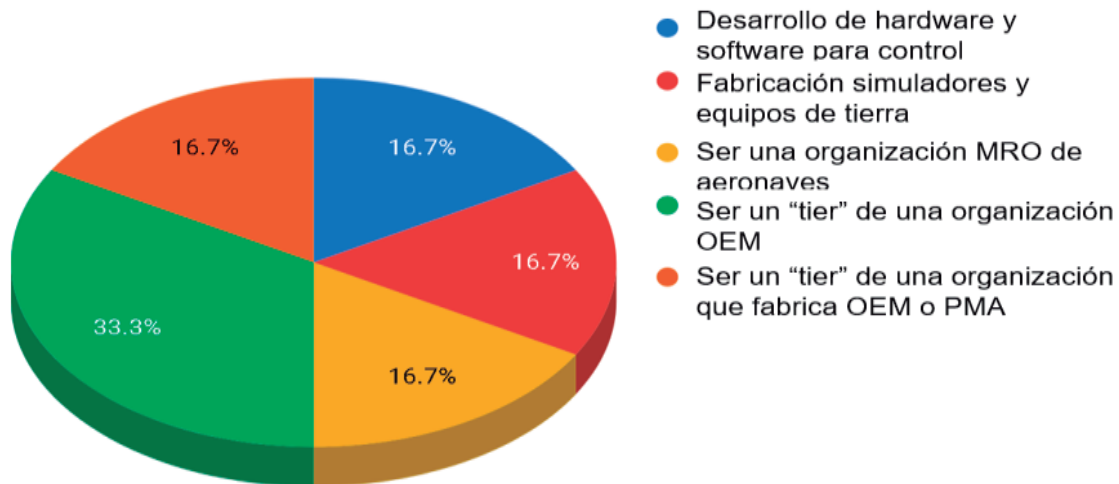


Figura 5 - Roles dentro de la industria aeronáutica - Elaboración propia

La mayoría de las empresas encuestadas coinciden en desarrollar las capacidades actuales para ser un nivel "tier" dentro de la organización del clúster como fabricante de componentes dentro de una cadena Original Equipment Manufacturer (OEM) o Parts Manufacturer Approval (PMA), lo cual corresponde a la secuencia lógica que han seguido otros países en el desarrollo de su industria aeronáutica. Al igual que en la pregunta anterior, menor importancia se le ofrece al servicio, específicamente al Maintenance, repair, and operations (MRO).

Pregunta: Dentro de las variables que requiere una organización dedicada al diseño, desarrollo, fabricación o mantenimiento de componentes aeronáuticos, ¿Cómo se encuentra su organización con respecto a las otras organizaciones que forman parte del sector aeronáutico en Colombia?

Empresas vs Organización del sector aeronáutico

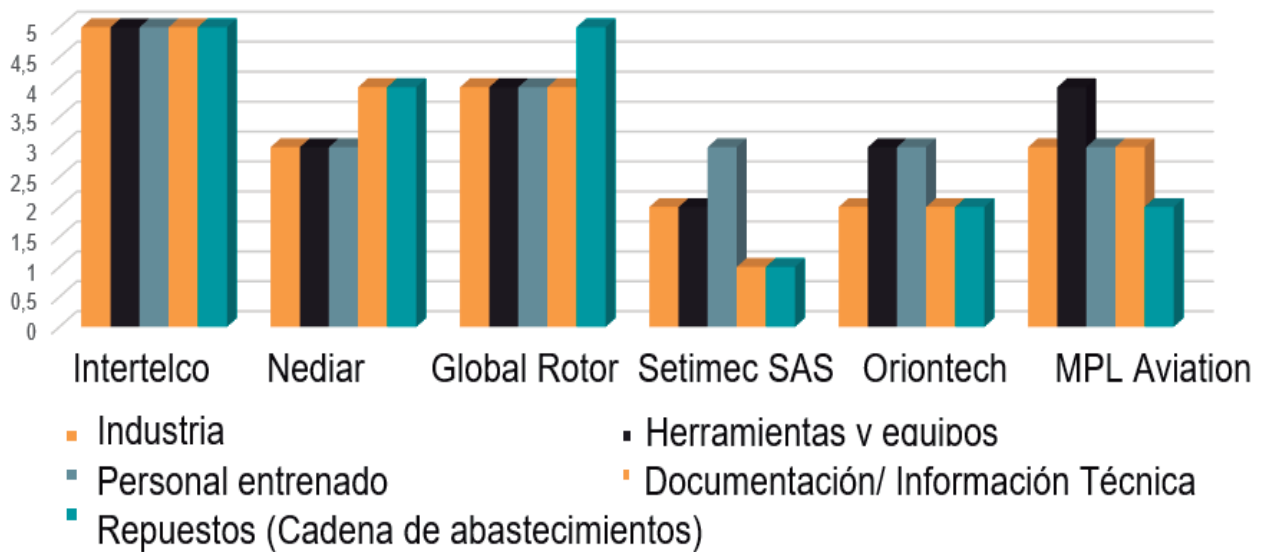


Figura 6 - Empresas frente al sector aeronáutico en Colombia – Elaboración propia

Se observa que, aunque existen capacidades distintivas que pueden caracterizar cada una de las empresas participantes, en la mayoría de ellas hay consciencia sobre el nivel inferior que tienen en algunos de los factores para ser competitivos, especialmente en el entrenamiento de su personal, en el acceso a la información técnica y la cadena de abastecimiento. Sin embargo, es muy importante resaltar que todos consideran que tiene un nivel de desarrollo medio o superior en los factores de infraestructura; y Equipos y /herramientas.

Pregunta: Seleccione si su portafolio de productos o servicios está relacionado a producción o mantenimiento en los siguientes campos

Los Sistemas mecánicos y electromecánicos, es el producto de mayor participación en el portafolio de productos de las compañías, seguido del diseño.

En menor proporción se encuentran los sistemas de armas y municiones, los sistemas o componentes hidráulicos, lo cual muestra hacia que productos específicos las empresas han desarrollado sus capacidades

Portafolio

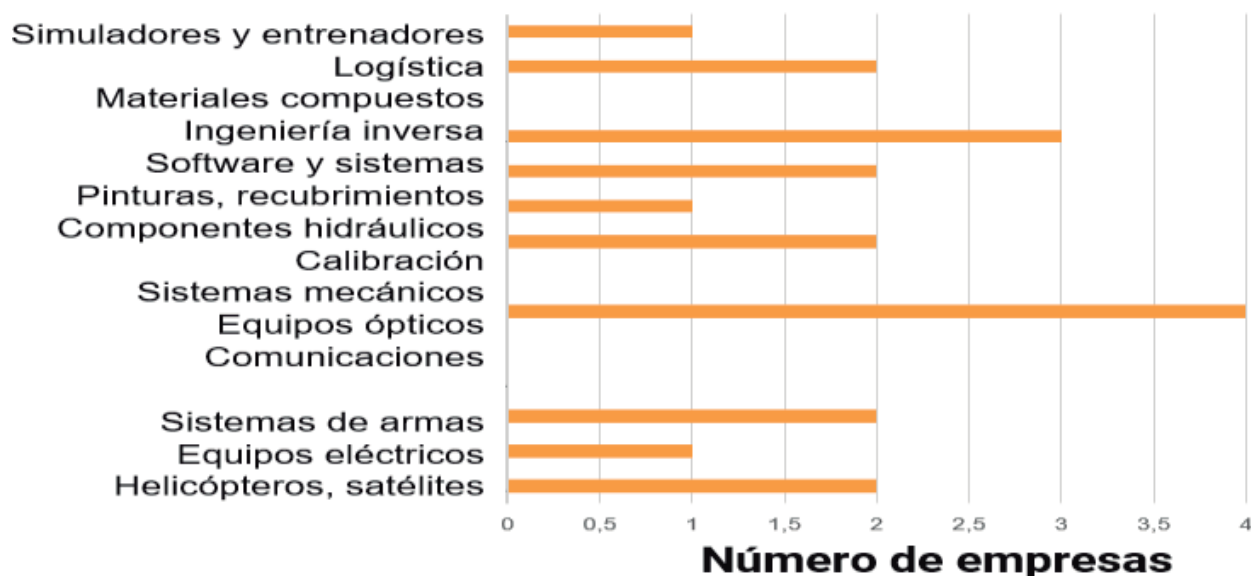


Figura 7 - Portafolio de productos. Elaboración propia

Pregunta: ¿Especifique puntualmente su producto o servicio?

Se evidencia variedad en los servicios ofrecidos por las empresas del clúster contando con capacidad técnica y de mantenimiento, específicamente se encuentran:

- Consultoría para capacitación y logística
- Software de Comando y Control; y software para logística
- Simuladores, entrenadores, equipos de soporte en tierra,
- Herramientas especiales
- Servicios de mantenimiento y reparaciones mayores de componentes eléctricos
- Quincallería para Helicópteros
- Gaia de rotor para GAU-19

Pregunta: Indique las certificaciones de aseguramiento de calidad que tiene su organización

La mayoría de las empresas se encuentra certificada bajo la norma ISO 9001, sin embargo, es importante fortalecer estos procesos porque hay empresas (17%) que no se encuentran certificadas en sistemas de gestión de la calidad, lo cual se constituye en una barrera para participar competitivamente en cualquier industria. También llama la aten-

ción que en 17% de estas cuentan con certificación de la aeronáutica civil.

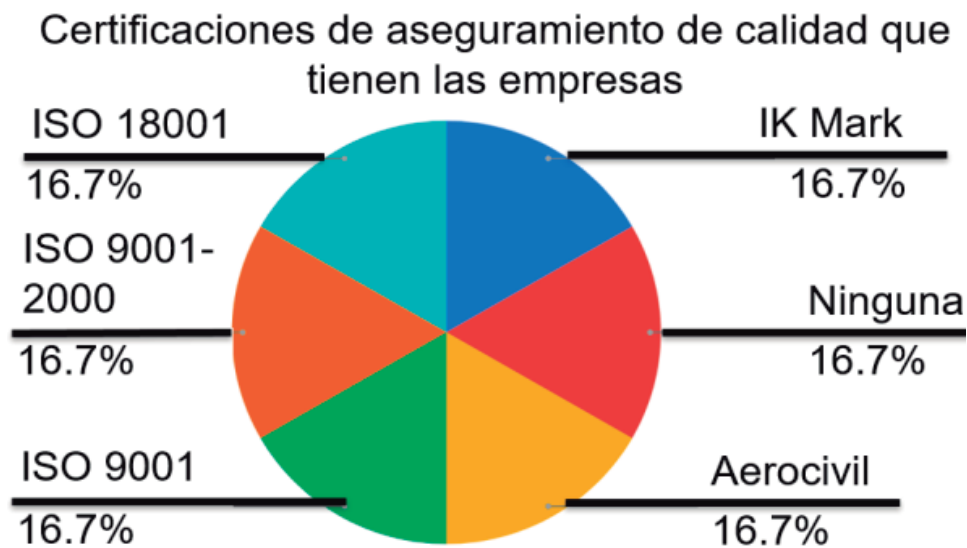


Figura 8 - Certificaciones. Elaboración propia

Pregunta: Indique las certificaciones del sector aeronáutico que tiene su organización.

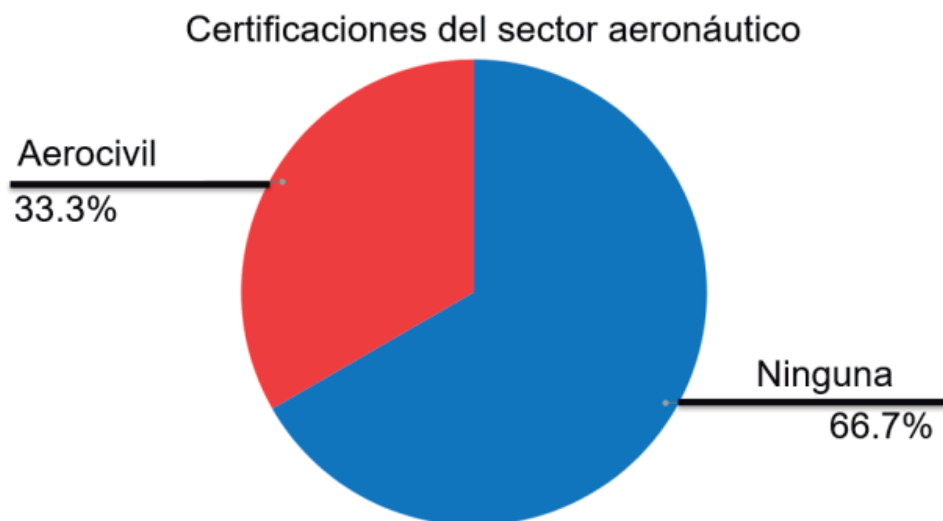


Figura 9 – Certificaciones del sector aeronáutico. Elaboración propia

La mayoría de las empresas no se encuentran certificadas en estándares aeronáuticos, lo cual impide su acceso al mercado aeronáutico con su portafolio de productos y servicios, tanto a nivel nacional como internacional.

Pregunta. ¿Considera que es indispensable que los actores del clúster incorporen a sus procesos certificaciones aeronáuticas como las que contempla la familia AS9000?

Capacidad de certificación a la norma AS9000 o AS9001

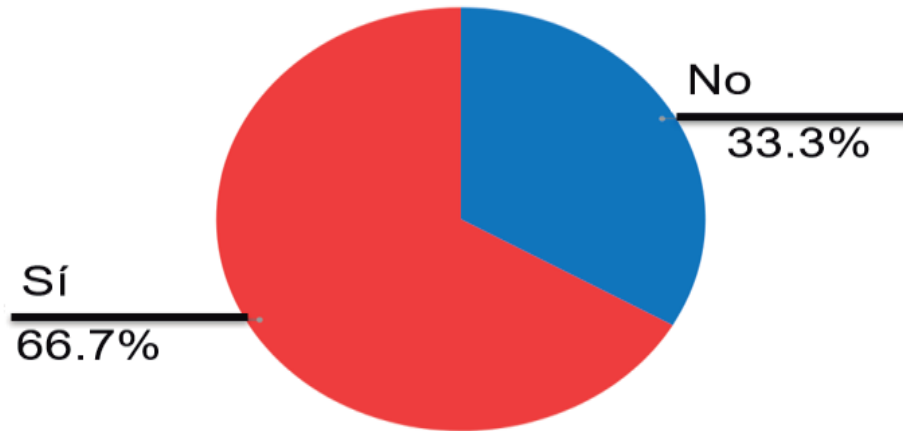


Figura 10 – Certificación NORMA AS9000-AS9001 - Elaboración propia

Un 67% de las empresas manifiestan contar con las capacidades adecuadas para obtener una certificación AS9000 o AS9001. Se evidencia consciencia que es un mecanismo para el acceso a mercados internacionales y que asegura la mejora de la competitividad empresarial. Sin embargo, algunos afirman que para alcanzar el desarrollo de la industria es prioritaria las certificaciones nacionales e internacional y posteriormente estas certificaciones como valor agregado.

Pregunta. ¿Considera usted que es necesario que el Gobierno Nacional genere incentivos de tipo tributario o de financiación que contribuyan al aumento de la capacidad productiva y al desarrollo de nuevos productos del sector?

Hay total consenso entre todos los participantes en la investigación que es indispensable la participación del gobierno, mediante incentivos que impacten positivamente el sector, señalando dentro de estos:

- Planes sectoriales
- Reducir los impuestos para la importación de equipos y maquinaria de alta tecnología
- Priorizar compra de productos nacionales

- Financiar el proceso de certificación de las empresas.
- Disminuir carga tributaria para las importaciones
- Incentivos para las empresas que forman parte del sector aeroespacial y Transferencia de tecnología

Pregunta: ¿Cuáles son los factores de mayor debilidad que usted ha identificado en la región y que limitan el desarrollo del sector aeronáutico?



Figura 11 - Debilidades identificadas. Elaboración propia

Con respecto a los factores que generan mayor debilidad y se convierten en limitante para el desarrollo del sector, la mayoría de las empresas señalan a las instituciones encargadas de su fomento y las políticas del sector que, entre su alta exigencia, sus elevados costos y la falta de unicidad en sus criterios, se constituyen en elementos que aumentan la complejidad propia del sector. Las certificaciones emergen como otro factor de alto impacto, que incide en el desarrollo y comercialización de los productos en el mercado. Llama especial atención que las empresas son consciente como la falta de confianza se constituye en debilidad para el desarrollo.

Pregunta: ¿Ha exportado algún producto del sector aeronáutico?

La mayoría de las empresas no ha realizado exportaciones involucradas con el sector aeronáutico, lo que va relacionado con la certificación de estas empresas en el sector.

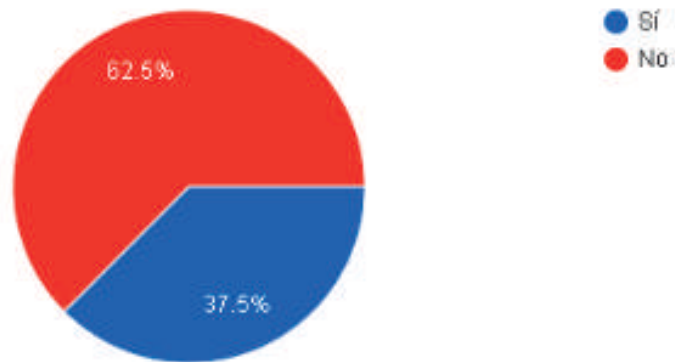


Figura 12 - Experiencia en exportar productos aeronáuticos. Elaboración propia.

Pregunta: Si la respuesta a la pregunta anterior fue afirmativa, por favor especifique qué producto, en qué fecha y con qué destino

Dentro de las empresas exportadoras, se encuentra que los productos realizados para otros mercados se han realizado materiales de insumo para aeronaves, tales como:

- Sillas
- Herramientas especiales
- Entrenadores para tripulantes de cabina para pasajeros
- Recableado de helicóptero

Pregunta: ¿Esta su organización afiliada a algún gremio, asociación o corporación?

La mayoría de las empresas se encuentran vinculadas o pertenecen a una corporación. Del 66%, la mayoría pertenecen al clúster de Rionegro. Ninguna de ellas tiene vinculación con entidades del exterior relacionadas con el sector aeronáutico.

Pertenece a algún gremio, asociación o corporación

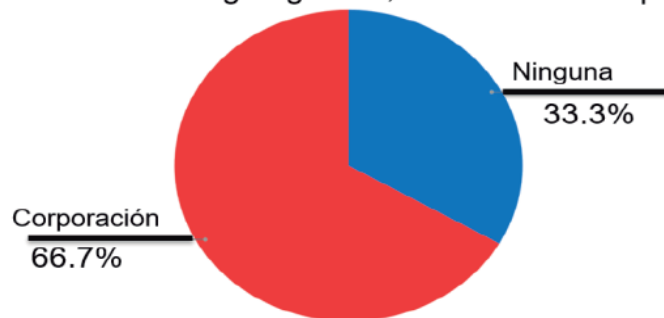


Figura 13 – Participación en gremios – Elaboración propia.

Pregunta: ¿Ha participado en alguno de los programas a través de los cuales el Gobierno Nacional incentiva el sector aeronáutico colombiano?

Participación en programas de incentivo al sector aeronáutico por parte del Gobierno Nacional

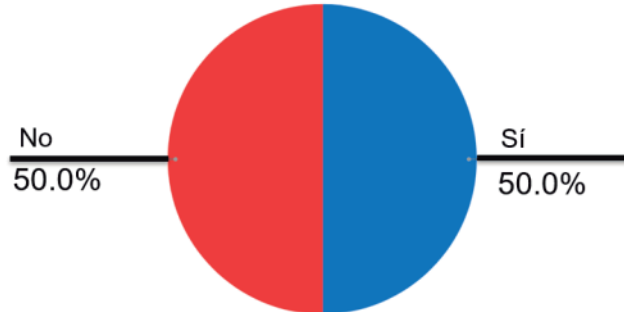


Figura 14 - Participación en programas de incentivos al sector – Elaboración propia.

La mitad de las empresas indicaron que no ha participado en ningún programa de incentivos para el sector, básicamente por los costos y esfuerzos asociados a la preparación de las propuestas y a los montos ofrecidos en las mismas.

Se evidencia que la participación de las empresas en el sector está muy relacionada a las necesidades por parte del equipo UH60 que se encuentra en la Base aérea de la Fuerza Aérea Colombiana ubicada en Rionegro.

Pregunta: ¿Ha recibido su empresa apoyo del Gobierno Nacional?

Empresas que han recibido apoyo por parte del Gobierno Nacional

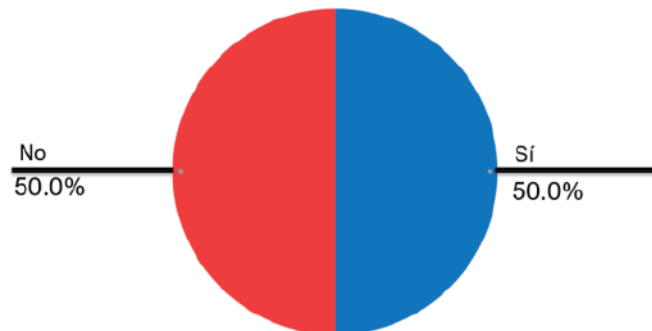


Figura 15 – Apoyo por parte del gobierno – Elaboración propia.

El 50% de empresas ha recibido apoyo por parte del Gobierno, relacionados a los

desarrollos y certificaciones en el sector aeronáutico. El apoyo ha sido canalizado a través de las convocatorias de Colciencias, Programa de transformación productiva e Innpulsa. Se observa que el Gobierno ha otorgado apoyos a las empresas que tienen las condiciones y desarrollos visibles en el sector, así por ejemplo para presentarse a una convocatoria COLCIENCIAS, implica invertir en innovación, tecnología y en preparación del talento humano que le permita ampliar capacidades y proponer propuestas de investigación.

Pregunta: ¿Cuál considera que es uno de los aspectos en los que el Gobierno Nacional debería trabajar más para mejorar la competitividad empresarial del sector donde se desempeña?

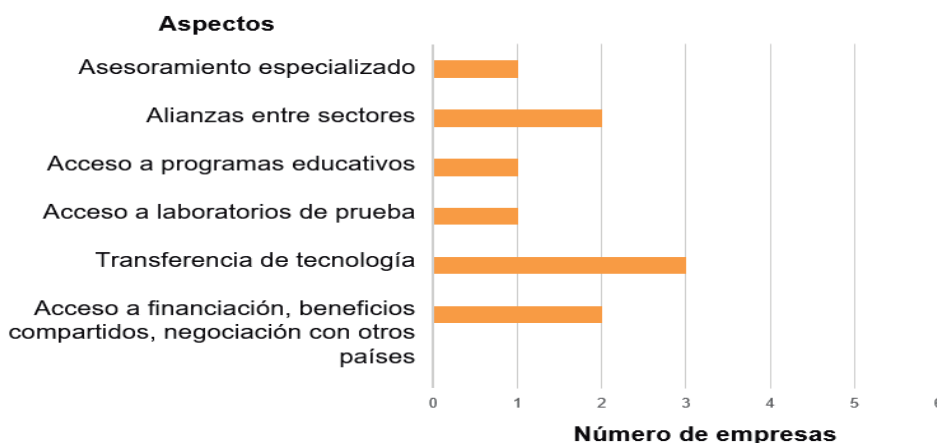


Figura 16 - Aspectos para mejorar la competitividad. Elaboración propia.

Se encontró que la transferencia de tecnología avanzada es uno de los aspectos considerados como clave para el mejoramiento competitivo, como en general ocurre en todos los sectores que buscan un desarrollo productivo.

Las alianzas entre sectores que permitan económicas de escala ratifican la necesidad de fortalecer el desarrollo de los clústeres y desarrollo de los encadenamientos productivos con otros sectores.

Pregunta: ¿En qué deben enfocarse los esfuerzos del clúster en el que se encuentra para lograr un desarrollo aeronáutico internacionalmente reconocido (innovación)?

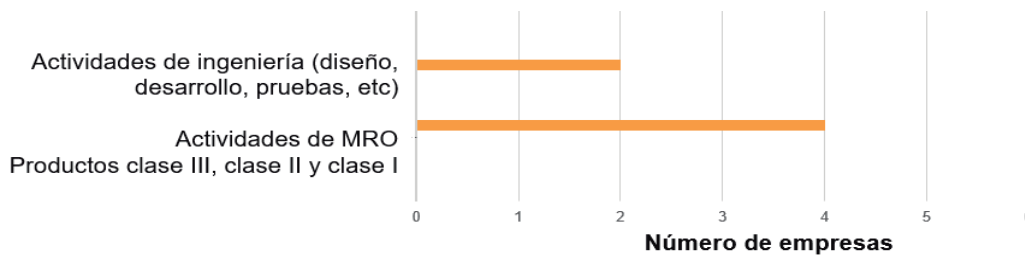


Figura 17 - Esfuerzos para el desarrollo del sector aeronáutico. Elaboración propia.

La mayoría de los participantes en el clúster coinciden en señalar que los esfuerzos en los que más se debería enfocar el clúster CAESCOL son los productos Clase III (incluye partes estandarizadas como las designadas AN - NAS - SAE, ASTM, AWS, MIL, entre otros (quincallería) así como actividades de ingeniería tales como diseño, desarrollo, pruebas, etc.

Pregunta: ¿Cuentan con centros de investigación y desarrollo dentro de su organización?

La investigación como eje fundamental de la innovación, debe presentarse de manera permanente y transversal en los procesos y actividades que realicen las empresas, tales esfuerzos deben ir orientados bajo un direccionamiento de una línea de investigación de la región-sector, liderada por una institución educativa o centro de investigación.



Figura 18 - Empresas con centros de investigación. Elaboración propia

Vale mencionar, que Rionegro cuenta con varios aliados estratégicos que pertenecen a la academia, y se propone una alineación práctica colaborativa para que se puedan realizar esfuerzos conjuntos que generen resultados de innovación y desarrollo, dado que se evidencia que la interacción, participación y cooperación de estos con las empresas es

aún baja. Dentro de los hallazgos es importante resaltar que se hace necesario el reconocimiento de estos centros de investigación para visibilizar y proyectar canales de integración entre estos y las empresas, como parte de la dinámica investigativa empresarial.

Resultados y Discusión

La investigación identifico como debilidades asociadas al Clúster:

- El déficit en la preparación de talento humano capacitado que supla la demanda del sector
- La falta de articulación entre los programas educativos de formación y las necesidades de formación del capital humano del sector
- La deficiencia en formación de normas aeronáuticas y certificación de las empresas que conforman el clúster
- La limitada capacidad tecnológica de algunas empresas
- La ausencia de transferencia de tecnología y conocimientos entre los actores.
- Rápida obsolescencia de la tecnología empleada

A lo largo de la investigación se evidenció que existen esfuerzos empresariales y algunas iniciativas de la academia, limitados por los procesos de investigación y transferencia de conocimiento, desarticulados con las instituciones académicas y entes Gubernamentales para la formación de I+D+i. Aunque hay propuestas interesantes con COLCIENCIAS y ejercicios de vigilancia tecnológica realizados, es necesaria la información interempresarial de cada actor del Clúster a través de una comunicación unificada que permitan aumentar la capacidad productiva y compartir el desarrollo de tecnologías a través de alianzas estratégicas.

Capacidades empresariales:

Las organizaciones de excelencia se anticipan y responden de manera ágil y flexible a los cambios en su entorno para asegurar su competitividad en el mediano plazo para con ello, hacer realidad su misión y visión. Es así, que el clúster como corporación, internamente mantiene una estructura en la cual se emiten directrices desde la gerencia de la organización dentro de la Junta Directiva. Desde la visión externa, el Clúster debe responder y ha atendido a los marcos regulatorios emitidos desde el Gobierno, especialmente económico para el sector aeronáutico, dentro de los cuales se pueden mencionar

las políticas vigentes emitidas por el Departamento Nacional de Planeación en las que se establecen alternativas de solución como: i) acuerdos de (ASA) y (ACA), ii) estructuración de las necesidades en el área de conocimiento a través del Marco Nacional de Cualificaciones MNC de mayo 2017 y oferta educativa del sector aeronáutico iii) implementar las buenas prácticas de gobierno corporativo para empresas estatales establecidas en el CONPES 3851, y iv) la Política Nacional de Laboratorios año 2017 que busca incentivar una mayor oferta de servicios de laboratorios y promover que más laboratorios se acrediten.

En temas de procesos de acreditación, Colombia cuenta con dos organismos que rigen control en procesos y productos de las organizaciones industriales:

- Organismo Nacional de Acreditación (ONAC), cuyo objeto principal es: i) acreditar la competencia técnica de organismos de evaluación de la conformidad, ii) ejercer como autoridad de monitoreo en buenas prácticas de laboratorio de la organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE) y iii) desempeñar las funciones de organismo nacional de acreditación de Colombia.
- Instituto Nacional de Metrología. (INM), el cual tiene como objetivo la coordinación nacional de la metrología científica e industrial. Ninguno de los organismos mencionados anteriormente; por el momento, poseen competencias de cuerpos acreditadores para el sector aeronáutico, ni tampoco, como un organismo auditor ante la IAQG.

Colombia cuenta con 3 empresas certificadas bajo el estándar AS9100, dos con capital privado y una de capital público: i) Antares IAC S.A.S, ii) CIAC Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana y iii) Couch Aviation S.A.S. (Rocha Méndez & González Alcalá, 2018, p. p9-10).

Como capacidad empresarial en materia económica, se identifica que los actores coinciden en la necesidad de entrada de una empresa ancla o tractora OEM a la región, que pueda producir un incremento en la función productiva del clúster, generando la demanda progresiva requerida para el despegue de la oferta en los portafolios de servicios de las empresas participantes. Sin embargo, entretanto es importante realizar las gestiones y acciones necesarias para preparar a la industria para la llegada de esta empresa tractora. Los factores para fomentar son: i) preparación del talento humano, ii) fortalecimiento de capacidades internas de las empresas del clúster, iii) creación de políticas que impulsen la industria nacional e internacional en la región y iv) fortalecimiento

en la cadena de suministro interna. De igual manera, estos esfuerzos deben ser orientados y apoyados por documentos gubernamentales de desarrollo productivo económico como lo son los CONPES y políticas económicas nacionales.

Otro aspecto importante desde la capacidad empresarial se deriva del ámbito social, donde la misión del Clúster como corporación estimula este aspecto, mediante el estímulo al desarrollo económico y social de Colombia a través del sector aeroespacial a nivel nacional e internacional, que va ligado al impacto educativo y formativo que el sector tiene en la población de Rionegro que participa directa o indirectamente en el sector aeroespacial, con especial atención, en la mejora de procesos propios de manufactura de estructuras y partes, soporte terrestre, servicios de ingeniería, tecnologías de información y el mantenimiento aeronáutico, y desde una visión externa, el crecimiento laboral en la región de Rionegro, por factores de oportunidades profesionales en la industria, provenientes de las regiones aledañas.

En cuanto a la identificación y evaluación de los recursos y las capacidades de la organización para responder a los retos que plantea su entorno, se identifica que la Gobernación de Medellín y la alcaldía de Rionegro han participado activamente en la inyección de capital, sin embargo, es relevante mencionar la falta de inversión nacional y extranjera que permita apalancar el sector, a través de recursos provenientes de entes gubernamentales y empresas OEM. Aunque estas empresas han visto la oportunidad en la región, las empresas no están preparadas para atender el tipo de demanda de las OEM, por lo que inicialmente, se tendría que gestionar la preparación para incursionar como TIER 3.

De acuerdo con esto, se identifican grandes oportunidades en el sector, en términos de fortalecer las capacidades con las que actualmente cuenta el clúster y las empresas a las que hacer parte directa e indirectamente, teniendo en cuenta que debe existir un direccionamiento por parte de los entes gubernamentales y rectores del sector que orienten políticas y permitan dar un derrotero más claro y definido. Dentro de estas oportunidades se tienen:

- Crecimiento del sector- industria aeronáutica a nivel nacional y global.
- Responsabilidad del crecimiento de pasajeros y carga en el aeropuerto José María Córdoba.
- Generar el segundo Aeropuerto Ciudad-Región, como centro de Aeropuerto

Nacional de Colombia .

- Proyección comercial de Rionegro como una región de ecosistemas aeroespaciales, aeropolis, hub aeroespacial, ciudad- aeropuerto, pero siguen siendo la misma dinámica, articulando la Universidad- Empresa y Estado en favor de las líneas temáticas y las necesidades que tiene el sector actualmente.
- La firma de numerosos Acuerdos de Servicios Aéreos (ASA) y Acuerdos de Cielos Abiertos (ACA) trazan un crecimiento permanente de operaciones aéreas a futuro.
- Intención de las aerolíneas internacionales en abrir acuerdos comerciales con Rionegro Colombia. Caso Airbus
- Construcción de una segunda pista en el aeropuerto de Rionegro.
- Otorgamiento de incentivos tributarios a Avianca para establecer el MRO en Rionegro, con la posibilidad de acceso por parte de otras empresas interesadas en fortalecer el clúster aeronáutico
- Oportunidad de las empresas para trabajar en proyectos tecnológicos con Avianca (MRO)
- Oportunidad del aeropuerto de Rionegro en prestar los servicios internos y servicios a terceros.
- Proyecto en curso con Singapore Airlines para establecer una alianza a través de un joint- Venture con Viva Colombia para desarrollar un MRO en el municipio de Rionegro.
- Airbus quiere establecerse en el campo de defensa, para ampliar la red de suministro. Tiene la intención de crecer en Colombia y posicionarse industrialmente en el país.

El clúster trabaja fuertemente en caracterizar oportunidades y capacidades en los que el sector pueda participar, tomando como referentes: modelos, estrategias y acompañamientos internacionales. Una de las actividades realizadas a nivel nacional, fue un estudio de vigilancia tecnológica del sector-región en cooperación con el SENA, y en el ámbito internacional, se menciona el actual estudio que se está llevando a cabo con la FUMEC de México, a través del diagnóstico de capacidades con 10 empresas de la región. De igual manera, la presente investigación hace parte del estudio de capacidades, estrategias competitivas y modelo de negocio para el fortalecimiento y proyección del Clúster Aeroespacial Colombiano.

Para el desarrollo de una propuesta de valor diferenciada que responde a las necesidades, expectativas e intereses del cliente, de acuerdo a lo valorado en este estudio,

existe una propuesta que consiste en el factor diferenciador en cada uno de los clústeres aeronáuticos-aeroespaciales nacionales de acuerdo a las capacidades y fortalezas de cada uno, con el fin de que sean especialistas en segmentos específicos de oferta y servicios en el sector, sin embargo, varios actores manifiestan la consolidación de un solo clúster nacional.

En el desarrollo de un plan de comercialización que integra procesos caracterizados por su innovación para la promoción, comunicación, distribución y venta de la oferta de productos y servicios, se está llevando a cabo un plan de articulación de sistemas de innovación con el desarrollo de mercado en el sector, con el fin de fortalecer las cadenas productivas y proyectar a la industria del sector como TIER 3.

El presupuesto está basado, principalmente por capital privado. Se están proponiendo proyectos de desarrollo que permita involucrar inversión de capital público y extranjero. En la alineación de los recursos y capacidades necesarios para ejecutar el plan de comercialización, aunque se han realizados sinergias industriales evidenciadas en productos y servicios aeronáuticos, se debe trabajar en cerrar brechas a través de la identificación de capacidades industriales en las empresas del sector, para ello, la propuesta de políticas públicas va orientada a fortalecer los encadenamientos productivos, promoviendo la eficiencia y efectividad de talento humano y financiero, mejorando las capacidades de las empresas en emprendimiento, desarrollo e investigación, innovación y transferencia de conocimiento y tecnología.

En la definición de una estrategia de precios para su portafolio de productos y servicios congruentes con la propuesta de valor y los objetivos estratégicos, la estrategia de precios es conforme a la propuesta de valor y objetivos estratégicos a nivel nacional, se sugiere proyectar a un mediano- largo plazo ese portafolio de productos y servicios con el fin de que sea compatible con propuestas internacionales a las que se quiere preparar el clúster como proveedor.

a) Capacidad Tecnológica

Empresas como Avianca, han incursionado dentro de sus procesos tecnología de punta, además, a través de diferentes convenios con empresas como Airbus, se han ido perfeccionando investigaciones para el mantenimiento de aeronaves y procesos industriales usando dispositivos inteligentes, otro aspecto de mencionar, es el desarrollo de

líneas de investigación que han permitido el desarrollo de piezas y resolver problemas propios de la organización. Sin embargo, los grandes adelantos de las empresas fuertes del sector, incluyendo los desarrollos militares en la aviación, en el tema de la transferencia de conocimiento, no es reflejada en las empresas pequeñas del sector, evidenciando ruptura en el encadenamiento como futuros proveedores para el diseño o mantenimiento de piezas.

La investigación, su desarrollo y la cultura de esta, es un proceso transversal en los procesos propios de cada empresa, para ello, es relevante que, además de ser impulsado a través de una política interna de cada empresa y del clúster, es inevitable que también sea promovido por directrices gubernamentales e iniciar acercamientos de desarrollo con instituciones como COLCIENCIAS, Universidades del sector y de la región, por medio de proyectos de investigación conjunta y aplicación teórico-práctica en las empresas pertenecientes al clúster. En esta dirección, el CETAD juega un papel fundamental como centro de desarrollo tecnológico, para que en trabajos conjuntos se puedan fortalecer estos procesos y ayude a las empresas a incursionarlo progresivamente en sus procesos y objetivos.

b) Capacidad de Innovación

La cooperación con las universidades e instituciones educativas fomenta la investigación e innovación, sin embargo, es necesario su fortalecimiento a través del emprendimiento práctico en la industria que permita generar aplicación del conocimiento y generación de investigación conjunta.

Existe un desarrollo de caracterización para fomentar el liderazgo empresarial y del sector con miras a ser referente nacional e internacional, que actualmente es un proceso en el cual se está incursionando con empresas colombianas y entes internacionales.

La innovación se ve inmersa dentro de la estrategia institucional del clúster, encontrada dentro de los valores corporativos como eje de articulación en las necesidades puntuales de los clientes, con el fin de satisfacer y exceder sus expectativas. Pero, es importante potencializar este recurso dentro de las operaciones cotidianas de cada una de las empresas pertenecientes al clúster.

En cuento a la generación de iniciativas y desarrollo de proyectos de innovación

dentro de la gestión de proyectos, se observa una baja participación con las universidades en este tipo de proyectos, sin embargo, los productos aeronáuticos han sido el resultado de iniciativas dentro de las dinámicas del clúster, con alta probabilidad de potenciar si se crea una sinergia más cercana con líneas y centros de investigación.

En la cultura de innovación mediante el diseño de los sistemas de trabajo de trabajo que se sustentan en la participación, el compromiso y el trabajo en equipos interdisciplinarios. Para el Clúster, la innovación como parte de los valores corporativos participa como factor importante dentro del desarrollo de las propuestas de valor para los socios y clientes. Sin embargo, es importante inculcar con mayor profundidad un trabajo interdisciplinario que permita abarcar mayores puntos de vista que hagan parte dentro de la estructura organizacional del clúster.

c) Capacidad de Gestión

Una de las acciones destacables del clúster dentro de conductas de liderazgo es la proyección dentro de sus objetivos estrategias de posicionar el sector- región dentro de las políticas gubernamentales de desarrollo económico, actividad que se ha visibilizado en la participación de la Mesa técnica Aeroespacial del Oriente Antioqueño y la Mesa Nacional del sector Aeroespacial que son ejemplo del enfoque a la innovación que se promueve.

Dentro de las propuestas estratégicas de la corporación se encuentran las siguientes propuestas de valor, (CAESCOL, 2018):

- Interlocución y “feedback” para la alineación de las políticas gubernamentales con el sector
- Puente relacional entre socios del clúster y clientes potenciales para la formalización de convenios, acuerdos comerciales, ejecución de proyectos en colaboración y cierre de negocios
- Identificación e impulso de propuestas de I+D en colaboración
- Representación del sector ante el gobierno nacional, regional y local
- Mayor probabilidad de obtención de fondos de I+D
- Acceso a entidades de interés
- Visibilidad en medios y eventos
- Información del sector a través de vigilancia tecnológica

- Participación de los actores e instituciones del sector en eventos académicos que fortalecen relaciones, permiten identificar necesidades comunes, empalmar propuestas y divulgar esfuerzos realizados en el Clúster.

Lo anterior, está dispuesto para las entidades que pertenecen al clúster, sin embargo, por temas económicos es difícil el acceso a empresas pequeñas del sector que quieren hacer parte del clúster, por lo tanto, se hace necesaria la formulación de iniciativas y políticas de inclusión para que puedan acceder al beneficio y estar integradas en el clúster.

Actualmente el clúster se encuentra trabajando en la incursión del campo aeroespacial como instrumento potencial e innovador del sector, con el que se está realizando un trabajo cooperativo con las universidades en programas de desarrollo de capacidades, habilidades y conocimientos que impacte positivamente a la región y de una visión de proyección a nivel nacional.

Se desarrollan actividades de capacitación del personal para proponer ideas y generar soluciones de mejora e innovación, especialmente en lo que comprende a temas de actualización internacional en el campo aeronáutico y aeroespacial, que son liderados por el clúster y también por las empresas pertenecientes. Lo anterior ha generado una motivación al personal de poner en práctica conocimientos adquiridos y generar propuestas de mejora, en especial con el diseño y optimización de componentes aeronáuticos.

El desarrollo de competencias va ligado a la demanda y exigencia del sector con un personal altamente calificado y entrenado para asumir y resolver las situaciones que compromete el sector aeronáutico y aeroespacial. Por lo que estos esfuerzos, se han visto reflejados en un conjunto de voluntades y acciones entre entes gubernamentales, empresa privada y universidades, impulsados y apalancados desde el clúster, con el objetivo de proyectar este sector como estratégico en el desarrollo económico nacional, y que para ello se necesita perfiles de talento humano dispuesto a suplir las necesidades e ir más allá a través de la innovación.

El clúster ha participado en proyectos impulsados desde el gobierno regional para que los adelantos realizados al interior de la corporación se vean exteriorizados en impactos positivos para la región. Estos desarrollos y resultados han sido motivo eviden-

te a nivel nacional de que el sector es una apuesta estratégica y que requiere de apoyo no sólo únicamente financiero para su crecimiento. Es así, que grandes esfuerzos han sido realizados por diferentes empresas del sector, para capacitar a su personal y que ha sido beneficioso en materia de resultados posteriores que ayudan al mejoramiento y progreso de la región.

De igual forma, el trabajo conjunto con empresas fuertes y casas fabricantes han permitido que el personal adquiera nuevos conocimientos y experiencias que son llevados en la práctica a nivel regional.

Como el sector aeronáutico- aeroespacial abarca una perspectiva nacional y global, las evaluaciones realizadas y el reconocimiento a los valores, las iniciativas de cambio e innovación y al logro de los objetivos son alineadas a los propósitos de las entidades gubernamentales, empresas privadas y las Universidades, con el fin de que todos puedan aportar ampliamente y permita la participación de todos sus actores que sean correlacionados a las políticas y requisitos legales en las iniciativas de cambio e innovación. Sin embargo, se sugiere una amplia y permanente participación de los entes reguladores de la aviación nacional para que sea una cadena ágil, dinámica y correspondiente a las propuestas emitidas por el sector.

El cumplimiento de logros de objetivos del clúster, es una recompensa a nivel regional y nacional, puesto que su visión está basada en el desarrollo económico y social nacional, que implica liderar propuestas y encaminarlas a que hagan eco a los entes directivos, que en ocasiones, no logra el impacto deseado, sin embargo, el clúster ha desarrollado estrategias de transformación para visibilizar y posicionar el sector dentro de las apuestas económicas del país, sentando a mesas de transformación productivas a los actores decisivos y contundentes en el apoyo del sector y la toma de decisiones.

Las organizaciones de excelencia gestionan los procesos de creación de valor y de apoyo para garantizar la eficiencia, innovación y productividad en el logro de los objetivos estratégicos.

En la alineación del diseño de los procesos a la propuesta de valor y a los requerimientos de los clientes y grupos de interés, los productos, servicios y líneas de desarrollo, van dirigidos a satisfacer los requerimientos de los clientes y la industria aeroespacial colombiana con miras a apuntarle a ser proveedores de empresas OEM y de compañías

internacionales. Sin embargo, varios de los procesos requieren un apoyo e intención a nivel gubernamental, como el tema de certificación, por esa razón es importante la integración de todos los actores en temas de impacto nacional.

En el diseño y mapeo de los procesos para el desarrollo de productos y servicios, incorporando tecnologías, herramientas y prácticas innovadoras, el sector aeroespacial se caracteriza por la utilización necesaria de tecnología, por tal motivo, es indispensable la incorporación de estas herramientas y las prácticas de tendencia global en el sector.

El clúster se preocupa por adquirir estas competencias e ir a la vanguardia de estas tendencias, aunque la mayoría, son procesos y operaciones costosas que requieren un financiamiento mayor y apoyos externos para el desarrollo, en estos puntos estratégicos es fundamental el trabajo cooperativo de aliados estratégicos y actores de la triada en la región.

En la definición de proyectos de innovación alineados a los objetivos estratégicos y a la voz del cliente, existen proyectos de innovación en respuesta a los objetivos planteados en el sector a nivel nacional y regional, generalmente incursionan en el diseño de partes aeronáuticas. En cada uno de los proyectos y propuestos por el clúster se evalúan los riesgos que este conlleva, con el objetivo de priorizar y evaluarlos, teniendo en cuenta que la mayoría de estos cuentan con grandes financiaciones, no sólo de recursos propios del clúster, sino también con entidades en alianzas estratégicas.

En el desarrollo de productos y servicios innovadores y de calidad, utilizando los enfoques, las herramientas y tecnologías apropiadas, la mayoría de los productos y servicios de innovación para el sector aeronáutico, debe trabajar bajo estándares de normas aeronáuticas, que cuentan con procedimientos y técnicas internacionales, que aseguren la confiabilidad y seguridad en la aviación. Gran parte de este conocimiento ha sido explorado por la aviación militar, por lo que se sugiere que esta transferencia de conocimiento, de acuerdo con posibilidades confidenciales se puedan aplicar a la corporación como agente dinamizador en el sector.

Para la adaptación de mecanismos para capitalizar los aprendizajes y redefinir e innovar sus procesos, la inversión es factor clave para los procesos de aprendizaje, estructuración de estrategias y la innovación, que va acompañada por la unión de capacidades para la consolidación de adopción en el desarrollo de estos procesos que aportan

significativamente al progreso del clúster.

Los mecanismos utilizados son proyectos de inversión, proyectos de desarrollo, convocatorias regionales y nacionales, proyectos de investigación, entre otros, que involucran a varios actores del sector. En la mayoría de los proyectos de innovación se realizan cofinanciamientos, y apoyo en capacidades de varios actores del sector, ya que, los procesos del sector aeronáutico- aeroespacial generalmente conllevan grandes costos, tecnologías y conocimientos especializados.

Todos los desarrollos son llevados por un proceso de certificación y corrobore la calidad de los mismos, además de las exigencias de los altos estándares aeronáuticos que cada producto y servicio debe cumplir, por tal motivo, se está estructurando un plan de fortalecimiento para entrenar y capacitar a las empresas del sector en la adquisición de estas capacidades con el fin, de que puedan ser proveedoras certificadas de grandes compañías multinacionales. Las organizaciones de excelencia gestionan la información y el conocimiento para generar aprendizajes que soportan la toma de decisiones en la ejecución de la estrategia, el cambio, la eficiencia operativa, la mejora continua y la innovación.

d) Capacidad de Asociación

Existe una gran apuesta y proyección del convertir a Rionegro en Sector- región, debido al crecimiento e interés por parte de la Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño y con oportunidad de convertirse en el segundo Aeropuerto- Ciudad- Región por el incremento de números de pasajeros y carga, apuntándole a mejorar las cadenas en rutas nacionales e internacionales por la posición privilegiada y estratégica de la región.

Es importante resaltar en esta capacidad, el interés por parte del Clúster en establecen un diálogo con sus grupos de interés para identificar con empatía sus requerimientos, intereses y necesidades, por lo cual CAESCOL cuenta con una participa activa en la Mesa técnica Aeroespacial del Oriente Antioqueño y la Mesa Nacional del sector Aeroespacial, a través de las cuales se está trabajando en el desarrollo de las siguientes actividades:

- Participación en propuestas de políticas gubernamentales para el sector
- Proyectos y participación en eventos académicos científicos y de divulgación

- Transferencia de conocimiento en desarrollos tecnológicos
- Propuestas económicas para la región
- Proyecciones educativas de formación del talento humano para el sector aeronáutico-aeroespacial.

El clúster ha desarrollado alianzas estratégicas con actores representativos de la triada Universidad, empresa y Estado a nivel nacional e internacional. Un claro ejemplo de esta participación es la relación institucional que se tiene con el clúster aeroespacial de Baja California en México a nivel internacional y con el departamento Nacional de Planeación a nivel nacional.

La corporación trabaja en generar ajustes y propuestas positivas que contribuyan a fomentar el desarrollo del sector y los que cambios que se puedan generar en este, así mismo, se realiza una continua comunicación entre los socios del clúster para tomar decisiones a nivel organizacional.

Las organizaciones de excelencia se caracterizan por un liderazgo que establece el rumbo estratégico de manera incluyente para desarrollar una cultura de alto desempeño, cambio e innovación que impulse la competitividad presente y futuro de la organización, por tal motivo, el liderazgo es un componente importante dentro de las capacidades de asociación.

En el desarrollo de comparaciones referenciales con las mejores prácticas dentro y fuera de su sector, el clúster cuenta con apoyo internacional de referencias con altos estándares y trayectoria en el sector aeroespacial, como es el caso del clúster de Baja California en México, donde recientemente la Corporación recibió una carta oficial por parte del presidente del clúster donde se menciona la designación del presidente de CAESCOL, como el Representante de Asuntos Internacionales del Clúster Aeroespacial de Baja California en Colombia, a partir de febrero de 2019, con base operativa en Medellín, Antioquia., lo que evidencia un grande logro y resultado en las sinergias y esfuerzos realizados y adquisición de aprendizaje y conocimientos bajo un referente internacional. De igual forma, se han realizado visitas estratégicas a los clústeres de Querétaro, Baja California, Andaluz, Quebec en Canadá, y la intención que se quiere lograr es que con todos ellos, se inicie un proceso de transferencia, con el fin de que estos clústeres puedan transmitir variables que atacaron en su momento, dinamizaron e impactaron de manera contundente para el desarrollo de esa economía, identificando valor agregado a su desa-

rollo y las actividades propias de funcionamiento, lo que permite también, mantener una relación y comunicación permanente con estas instituciones.

Para la recopilación de la información de sus áreas clave y grupos de interés que impactan en el desempeño, su operación, la ejecución de su estrategia y la generación de valor, se realizan periódicamente eventos divulgativos donde se realiza la invitación a los actores del sector a nivel nacional y regional.

La información una vez recopilada se lleva a procesos de análisis donde es documentada y puesta en estrategias de retroalimentación y mejora. Así mismo, se busca que sea fuente suministrada de fuentes confiables y de gran protagonismo en el sector.

Para capitalizar el conocimiento y el aprendizaje, el clúster gestiona, protege y hace accesible este intangible, para impulsar la innovación y perfeccionar la toma de decisiones. El conocimiento y aprendizaje es el resultado de un "know how" interno y externo soportado en cooperaciones de aliados estratégicos, que permite desarrollar estrategias de mejora continua y trascendente únicas e innovadoras. Por tal motivo, la información trabaja en niveles de restringido y público dependiendo de los documentos respectivos y que, a su vez, esta información es guardada y protegida.

Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter – Atractivo de la Industria

Con base en la correlación de los aspectos derivados de la matriz DOFA y el análisis competitivo del clúster, se elaboró la estructura gráfica de las cinco fuerzas de Porter, teniendo como referencia las teorías de M. Porter, como se muestra a continuación:

5 FUERZAS DE PORTER. ATRACTIVO DE LA INDUSTRIA

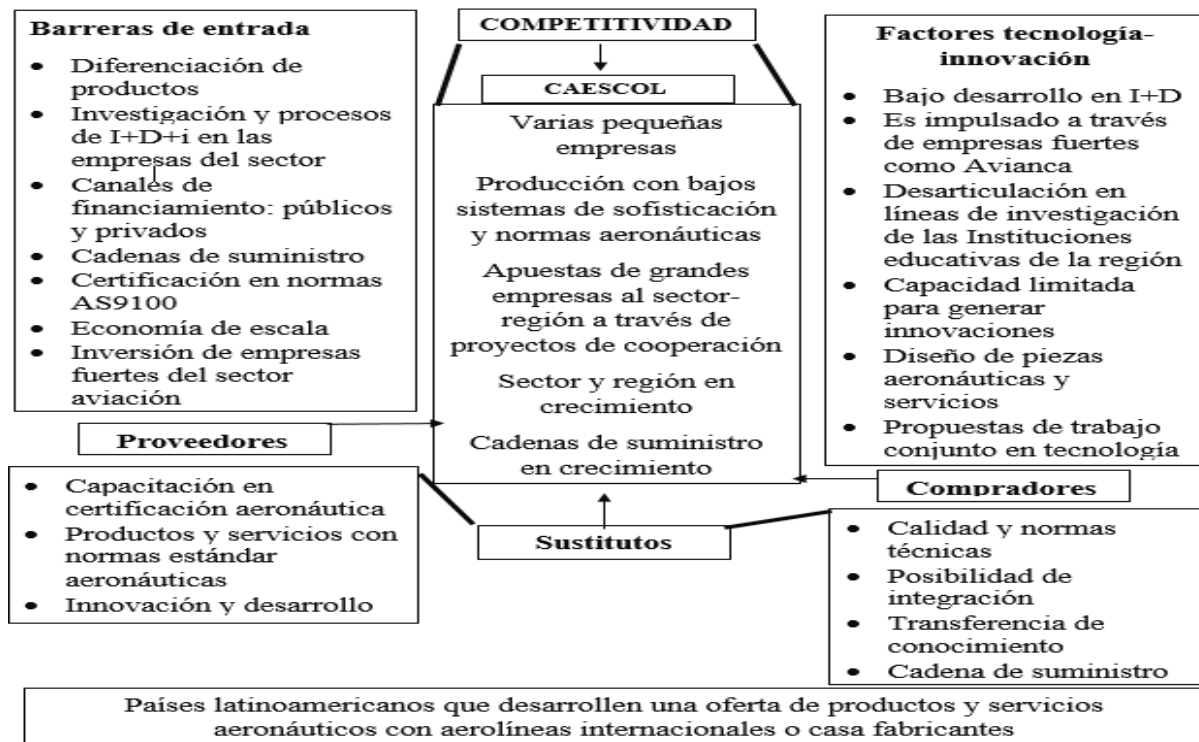


Figura 19 - Cinco Fuerzas de Porter en el Clúster Aeroespacial Colombiano- Rionegro. Elaboración basada en Porter.

Conclusiones

El presente proyecto identificó las capacidades empresariales, de asociación tecnológicas y de innovación que actualmente posee el Clúster Aeroespacial Colombiano ubicado en Rionegro, observando un atractivo potencial en crecimiento, pero soportado en la necesidad de políticas públicas nivel regional y nacional que den apoyo a este creciente sector económico, ligado a una cooperación permanente que defina y establezca un derrotero efectivo para promover la certificación requerida por la normatividad aeronáutica en las pequeñas y medianas empresas que hacen parte de este clúster, impulsado por la academia, empresas robustas con trayectoria y experiencia en el sector y el gobierno a través de los entes rectores en materia aeronáutica y aeroespacial que permita direccionar este proceso que se debe dar en un corto-mediano plazo. La articulación entre las empresas a través de mecanismos de gobernanzas y acuerdos para la generación de valor.

Con respecto a la capacidad de innovación, se concluye que para proyectar esta región-sector es indispensable inyectar y apoyar a través de recursos y orientación académica la investigación e innovación que fortalezca el trabajo conjunto entre universidades y empresas, y que las autoridades aeronáuticas nacionales en conjunto con los entes gubernamentales regionales como las cámaras de comercio, dispongan de proyectos que impulsen las nuevas iniciativas en materia del sector, en el diseño de piezas y mantenimiento, como capacidades fuertes y características de este clúster.

Las asociaciones entre empresas OEM que han visto oportunidad de crecimiento, podría generar un gran apalancamiento en transferencia de conocimiento, que permitiría desarrollar mayores capacidades en las empresas pymes que hacen parte del clúster, de igual forma, la inyección de capital y la apertura al mercado a la incorporación de egresados de los programas aeronáuticos y aeroespaciales aumentaría por la demanda que se llegase a generar, así mismo, teniendo en cuenta la apuesta de crecimiento que se proyecta y evidencia el aeropuerto José María Córdoba.

Por otra parte, se encuentra que la capacidad de asociatividad debe propender a fortalecer el vínculo de las universidades y empresas, definición de roles para la generación de confianza y generación de fortalecimiento de capacidades entre las empresas.

Para la capacidad de gestión, el proceso de certificación se convierte en uno de los temas prioritarios del sector, que debe ser liderada por los entes rectores a nivel gubernamental y las empresas del sector, con el fin de que se emitan políticas claras que den un derrotero y apoyen a través de financiamiento y acompañamiento durante el proceso de certificación.

En la capacidad tecnológica es indispensable fortalecer la inversión en tecnología, pero que esté ligada a una formación, capacitación y entrenamiento del personal, donde la academia y las empresas juegan papeles protagónicos en el acompañamiento de la transferencia de conocimiento. También es importante considerar que la capacidad tecnológica esté inmersa en proyectos de I+D+i de convocatorias regionales y nacionales.

Referencias

Acosta Prado, J. C., & Fischer, A. L. (2013). Condiciones de la gestión del conocimiento, capacidad de innovación y resultados empresariales. *Un modelo explicativo. pensamiento y gestión*, 35, 25-63.

Acosta, J. C. (2009). Ba: Espacios de conocimiento. Contexto para el desarrollo de capacidades tecnológicas. *Boletín Intellectus*, 15, 12-18. Acosta, J. C. (2010). *Creación y desarrollo de capacidades tecnológicas: Un modelo de análisis basado en el enfoque de conocimiento*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Acosta-Prado, J. C., & Longo-Somoza, M. (2013). Sensemaking processes of organizational identity and Technological Capabilities: an empirical study in new technology-based firms. *Innovar Journal*, 23(49), 115-130.

Acosta-Prado, J. C., Bueno Campos, E., & Longo-Somoza, M. (enero-junio de 2014). Technological capability and development of intellectual capital on the new technology based firms. *Cuadernos de Administración*, 27 (48), 11-39.

Acs, Z. J., & Armington, C. (2006). *Entrepreneurship, Geography, and American Economic Growth*. New York: Cambridge University Press.

Acs, Z. J., Audretsch, D. B., Braunerhjelm, P., & Carlsson, B. (2009). The knowledge spillover theory of entrepreneurship. *Small Business Economics*, 32(1), 15–30. *Small Business Economics*, 32(1), 15-30.

Aeronáutica Civil. (2018a). II Foro Sector Aéreo 2030. Bogotá: Aeronáutica Civil.

Aeronáutica Civil. (2018b). RAC 145. En A. Civil, Organizaciones de Mantenimiento (pág. 54). Bogotá: Aeronáutica Civil.

Ahrne, G., & Brunsson, N. (December de 2005). Organizations and meta-organizations. *Scandinavian Journal of Management*, 21(4), 429–449.

Alcaldía de Rionegro- Municipio de Antioquia y Corporación empresarial del Oriente Antioqueño. (10 de 12 de 2015). Corporación empresarial del Oriente Antioqueño. Obtenido de Convenio de Cofinanciación N°055.

Aldrich, H., & Staber, U. H. (1988). Organizing business interests: Patterns of trade association foundings, transformations, and deaths. (G. R. Carroll, Ed.) *Ecological models of organizations*, 111-126.

Amit, R., & Schoemaker, P. (1993). Strategic asset and organizational rent. *Strategic Management Journal*, 14, 33-46.

ANDI. (16 de 01 de 2019). ANDI. Obtenido de ANDI: <http://www.andi.com.co/>

Ansoff, H. (1965). *Corporate Strategy*. Nueva York: McGraw-Hill.

Arena, J. (28 de 11 de 2018). Foro "Desarrollo de la Industria aeronáutica". "Aeroespacio- Una oportunidad que no se puede dejar pasar". Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.

Arias Jiménez, F. (2016). Centro aeronáutico de Avianca da alas al Oriente antioqueño. *El Colombiano*, 01-02.

Arisizabal, G. A. (28 de 11 de 2018). Avianca. Rionegro, Antioquia, Colombia.

ATAG. (2018b). *El transporte aéreo genera 65,5 millones de empleos y aporta*. Atlanta: ATAG-Oxford Economics.

Audretsch, D. B. (1995). *Innovation and Industry Evolution*. M.A: MIT Press. Massachusetts London, England: The MIT Press Cambridge.

Audretsch, D. B., & Keilbach, M. (2005). *Entrepreneurship Capital — Determinants and Impact*. . CEPR Discussion Papers 4905, C.E.P.R. Discussion Papers. Recuperado el 01 de 07 de 2019, de <https://www.aeaweb.org/assa/2006/010714300301.pdf>.

Audretsch, D. B., Keolbach, M., & Lehman, E. (2006). *Entrepreneurship and Economic Growth*. Oxford: Oxford University Press.

Baja Aerospace Clúster. (4 de 11 de 2018). *Cluster BC*. Obtenido de Baja California y Colombia, apoyo a la capacitación: <http://bajaaerospace.org/2018/11/01/baja-california-y-colombia-apoyo-a-la-capacitacion/>

Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.

Bueno Campos, E. (2004). Fundamentos epistemológicos de Dirección del Conocimiento Organizativo: desarrollo, medición y gestión de intangibles en las organizaciones. *Economía Industrial*(357), 13-26.

CAESCOL. (2018). Corporación Cluster Aeroespacial Colombiano. *Productos y servicios*. Rionegro, Antioquia, Colombia: CAESCOL.

Calderón García, J. A. (2018). AIRPLAN. *AIRPLAN*. Rionegro.

Cámara de Comercio de Medellín. (16 de 06 de 2018a). *Cluster y competitividad*. Obtenido de Cámara de Comercio de Medellín: <http://www.camaramedellin.com.co/site/Cluster-y-Competitividad/Comunidad-Cluster/Medellin-Ciudad-Cluster.aspx>

Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño. (2018b). *HUB de Servicios Aeronáuticos para el José María Córdova*. Obtenido de http://www.orientecomercialdigital.com/sitio/noticias_detalle.php?id=81

Cepal. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina. Serie Estudios y Perspectivas*. México: Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5014-indicadores-de-capacidades->

Dalziel, M. (2006). The impact of industry associations: Evidence from Statistics Canada data. *Innovation: Organization & Management*, 8(3), 296-306. doi:<https://doi.org/10.5172/impp.2006.8.3.296>

Dávila, J. C. (enero- junio de 2012). La doble dimensión de una capacidad organizacional: evidencias de una organización sin ánimo de lucro que compite en el mercado. *Cuadernos de administración*, 25(44), 11-37.

Deloitte. (2018). *2018 Global aerospace and defense industry financial performance study*. Obtenido de Commercial aerospace sector performance decelerates, while defense sector continues to expand: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Images/infographics/gx-eri-global-a-d-industry-financial-performance-study-2018.pdf>.

Dilaver, O., Bleda, M., & Uyarra, E. (2014). Entrepreneurship and the emergence of industrial clusters. *Complexity*, 19(6), 14–29.

DNP. (2017). *Desarrollo productivo del Sector Aeronáutico*. Bogotá D.C: DNP.

| EASA. (14 de 01 de 2019). *EASA*. Obtenido de <https://www.easa.europa.eu/>

Eisenhardt, K., & Martín, J. (2000). Dynamic capabilities: The evolution of resources in dynamic markets. *Strategic Management Journal*, 21, 1105-1121.

Foden, D., & Magnusson, L. (1999). *Entrepreneurship in the European Employment Strategy*. Bruselas: European Trade Union Institute.

Garavito E, J. C., Pérez Peña, N. L., Munive Herrera, B. M., Papell Puigferrer, M., Ramirez F, M. C., & Molina O, F. (2018). *Iniciativas clúster en Colombia*. Bogotá: Innpulsa- Universidad del Rosario.

García, F., & Navas, J. E. (2007). Las capacidades tecnológicas y los resultados empresariales: un estudio empírico en el sector biotecnológico español. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 32, 177-210.

Geschier, J. B. (28 de 11 de 2018). Airbus. Rionegro, Antioquia, Colombia: Universidad Católica del Oriente UCO.

Grand, R. M. (2016). *Contemporary Strategy Analysis*. Padstow, Cornwall: Wiley.

Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantages: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33(3), 114-135.

Grant, R. M. (1996). Prospering in dynamically-competitive environments: organizational capability as knowledge integration. *Organization Science*, 7, 375-387.

Grant, R. M. (2006). *Dirección Estratégica: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones* (Vol. 5). Madrid: Civitas.

IATA. (2016). *THE IMPORTANCE OF AIR TRANSPORT TO THE UNITED STATES*.

London: Oxford Economics. Instituto para el Fomento a la Calidad Total. (2018). *Modelo Nacional para la Competitividad 2018*. México D.F: IFC.

Lugones, G. E., Gutti, P., & le Clech, N. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina*. In *Estudios y Perspectivas*. Santiago: CEPAL.

Marín Gallego, Á., & Aguirre Loaiza, B. (2006). "Diseño de un modelo de competitividad para el renglón de la producción de muebles de madera en el Departamento del Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad La Gran Colombia*, 109-134.

Mayenberger, C. S. (2013). El enfoque sistémico de la innovación: ventaja competitiva de las regiones. *Estudios Gerenciales*, 27-39.

Mejía-Villa, A., Alfaro Tanco, J. A., & San Martín, E. S. (2017). Análisis del proceso de capacidad de absorción en las asociaciones empresariales como intermediarias de innovación. *XXVII Congreso de ACEDE*, 1-31.

Méndez, R. (2003). Innovación y desarrollo territorial: algunos debates teóricos recientes. *Eure*, 1-32.

Montañez, N. (2017). EL MODELO DE COMPETITIVIDAD AMPLIADA DE MICHAEL PORTER. *Comunicación*, 01.

Muñoz Morales, D. A. (28 de 11 de 2018). CAESCOL. Rionegro, Antioquia, Colombia.

Narváez, M., Fernández, G., & Senior, A. (Diciembre de 2008). El desarrollo local sobre la base de la asociatividad empresarial: Una propuesta estratégica. *Scielo*,

27(57), 74-92. Recuperado el 01 de 07 de 2019, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101215872008000300006&lng=es&nrm=iso

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge creating company*. New York: Oxford University.

OCDE. (1998). *Fostering Entrepreneurship*. París: Organization for Economic Cooperation and Development.

Penrose, E. (1959). *The theory of the growth of the firm*. Oxford: Basil Black-Well.

Pérez Hernández, C. C., Gómez Hernández, D., & Lara Gómez, G. (enero-junio de 2018). Determinantes de la capacidad tecnológica en América Latina: una aplicación empírica con datos de panel. *Economía Teoría y Práctica Nueva Época*(48), 75-124.
doi:<http://dx.doi.org/10.24275/ETYPUAM/NE/482018/Perez>

Peteraf, M. (1993). The Cornerstones of Competitive Advantage. A Resource-Based View. *Strategic Management Journal*, 14, 179-191.

Piore, M. J., & Sabel, C. F. (1984). *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity*. Nueva York: Basic Books.

Porter, M. (1980). *Competitive strategy. Techniques for analysing industries and competitor*. New York: Free Press.

Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press, New York.

PTP. (16 de 01 de 2019). *PTP*. Obtenido de PTP: <https://www.ptp.com.co/>

Quiñones, A., & Tezanos, S. (2011). Ayuda oficial al desarrollo científico tecnológico: una evaluación macroeconómica de la distribución geográfica y sectorial.

Red Estatal de Clúster. (2018). *Red Estatal de Clúster*. Obtenido de Clúster Aeronáutica de Querétaro: <https://aeroclusterqueretaro.mx/>

Restrepo Gallego, F. (2018). La dinámica de sistemas en el desarrollo regional. *Presente y Futuro del Oriente Antiquieño*. Rionegro.

Rickards, T. (1996). The management of innovation: Recasting the role of creativity. 5(1), 13-27.

Rocha Méndez, W. E., & González Alcalá, A. I. (2018). *Diagnóstico para la implementación de una normativa aeronáutica bajo la serie AS9100*. Rionegro: SENA & InnoViTech.

Sánchez Tovar, Y., García Fernández, F., & Mendoza Flores, J. E. (2015). La capacidad de innovación y su relación con el emprendimiento en las regiones de México. *Estudios Gerenciales*, 31, 243-252.

Sears, G. J., & Baba, V. V. (2011). Toward a multistage, multilevel theory of innovation. *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 28(4), 357-372.

Secretaría de Economía Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología México. (2012). *Industria Aeronáutica en México*. México D.F: SE-DGIPAT.

Secretaría de Gestión Empresarial y Desarrollo Económico:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xmzQ26WjDM8J:www.ceo.org.co/images/stories/ceo/noticias/proyectos/sistematizacion-proyectos%2520alcaldia-rionegro-versi-n-2-dic-4-2015%20ceo.pdf+&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>

Secretaria Distrital de Planeación. (14 de 01 de 2019). *Secretaria Distrital de Planeación*. Obtenido de POT: <http://www.sdp.gov.co/micrositios/pot/que-es>




CAPITULO 4

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL AEROPUERTO JOSÉ MARÍA CÓRDOVA DE RIONEGRO

Como citar este Capítulo

Gómez Gil, Hurtado Meneses, Preciado Mosos, & Gómez Gómez, (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico para el aeropuerto José María Córdoba de Rionegro. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Sati-zabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.



Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico para el aeropuerto José María Córdova de Rionegro

Design proposal for a photovoltaic system for the José María Córdova airport in Rionegro

José David Gómez Gil; Diego Estiven Hurtado Meneses; Angie Tatiana Preciado Mosos, Edgar Leonardo Gómez Gómez.

Centro de Estudios Aeronáuticos CEA, Bogotá D.C. Colombia

Resumen

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en la opción más viable para ser implementada en aeropuertos, esto se debe principalmente a las grandes zonas libres en terrenos y en techos que pueden ser aprovechadas para la instalación de grandes granjas solares; sin embargo, la complejidad de su implementación radica en la necesidad de no exponer de ningún modo la seguridad operacional; el deslumbramiento, la interferencia electromagnética, invasión del espacio aéreo y el desprendimiento de partes son los principales peligros a considerar.

El aeropuerto José María Córdova se encuentra ubicado en Rionegro, Colombia, y es el segundo más importante en término de flujo de pasajeros y movimiento de carga, por su ubicación geográfica presenta un alto potencial solar que puede ser aprovechado para la generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos, que llevan a reducir el impacto medio ambiental de las tecnologías convencionales y a diversificar la matriz energética. Se propone el diseño de un sistema fotovoltaico que cumpla con los requerimientos de seguridad operacional y que pueda entregar energía eléctrica a algunas zonas del aeropuerto en cuestión, el sistema propuesto está ideado para trabajar de forma interconectada a la red, y se requiere efectuar la reutilización de equipos con que ya contaba la entidad en un plan piloto de energía fotovoltaica del aeropuerto Olaya Herrera. El sistema propuesto puede generar ingresos anuales por cerca de 27 millones de pesos de 67,2 MWh exportados a la red, que representa la disminución de 14,2 toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera, lo que es equivalente a dejar de consumir 6.237 litros de gasolina.

Palabras claves:

aeropuerto, energía solar, energía renovable, seguridad aérea..Alianza Estratégica.

Key-Words: *Airport, air safety, renewable energy, solar energy.*

Introducción

Actualmente la aviación civil genera cerca del 2,6% del total de las emisiones anuales de dióxido de carbono (CO₂), esto es aproximadamente el 2% de los 36 mil millones generadas por todas las actividades humanas (ICAO, 2016), el consumo energético en aeropuertos se concentra principalmente en el lado tierra del mismo, cerca del 80% se da en las terminales donde los mayores consumidores son los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado, iluminación y tecnologías de la información y comunicación (TIC)(Ortega Alba & Manana, 2016) es por ello que organizaciones de aviación civil incentivan y promueven la reducción de emisiones por medio de créditos de compensación ante la introducción de energías alternativas (Airports Council international, 2010), dentro de las fuentes no convencionales de energía renovable la solar fotovoltaica es una de las más adecuadas para instalar en aeropuertos (Mostafa, Aleem, & Zobaa, 2016), sin embargo, las restricciones de seguridad hacen que su estudio vaya acompañado de una serie de análisis que lleven a no comprometer de ningún modo la seguridad de la aviación civil y los sistemas de apoyo (Anurag, Zhang, Gwamuri, & Pearce, 2017), los peligros que se han encontrado son: deslumbramiento solar, interferencia electromagnética con sistemas de comunicación, invasión del espacio aéreo, desprendimiento de partes y algunos peligros que puede traer la vida silvestre local (Mostafa, Aleem, & Ibrahim, 2016); en el aeropuerto de Manchester-Boston los controladores reportaron problemas debidos al brillo solar hacia la torre de control (Kandt & Romero, 2014), (Hayward, 2012), herramientas de análisis de riesgo de deslumbramiento solar como la desarrollada por Sandia National Laboratories, permite mitigar este riesgo, aunque su funcionalidad está restringida a uso militar y del gobierno federal de los Estados Unidos, sus características las recoge la herramienta Forgesolar cuyo uso es de acceso público y permite la utilización para fines académicos y de investigación (Clifford K & Cianan A, 2013), en congruencia con lo anterior, la Administración de Aviación Federal de los Estados Unidos de América (FAA), ha dispuesto desde el 2012 la guía técnica para la instalación de sistemas fotovoltaicos en aeropuertos, allí se dan una serie de pautas y recomendaciones para que los peligros y afectaciones a la aviación civil sean mínimos (by Jake Plante, Inc for FAA Airport Planning,

& Division, 2012),

En los últimos seis años se han instalado más de 100 sistemas fotovoltaicos en aeropuertos, se ha encontrado que la potencia instalada es de más de 400MW (Air Transport Action Group, 2015; Mostafa, Aleem, & Zobaa, 2016), en la Fig. 1 se muestra la ubicación de estos aeropuertos, se evidencia que la mayor parte de ellos se concentran en el hemisferio norte, principalmente en Norteamérica, en Europa y Asia también se cuenta con un significativo número, por último, se encuentra África y América latina, en donde se ubican el aeropuerto de Montevideo en Uruguay, aeropuerto Seymour en Galápagos y en África el aeropuerto de Lilongüe en Malawi.

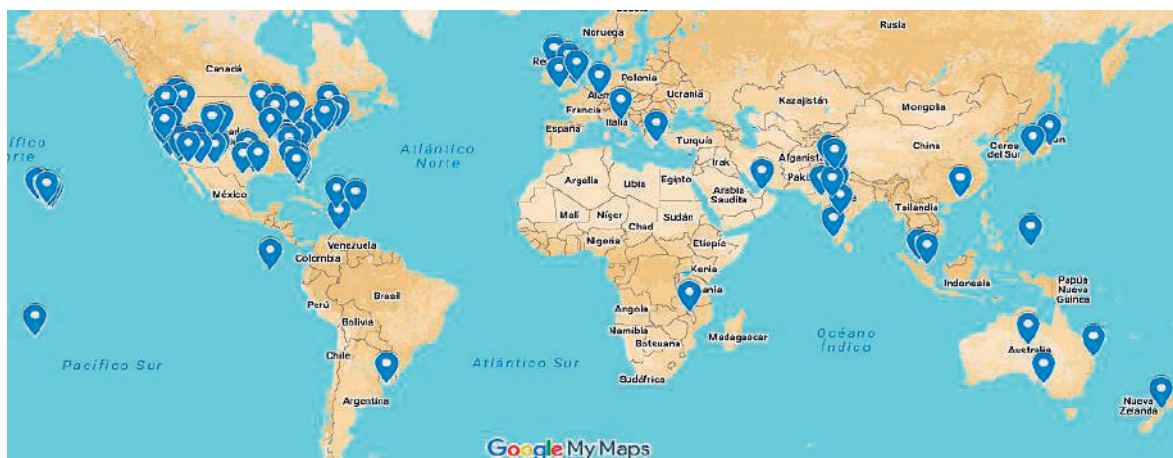


Fig. 1. Aeropuertos con sistemas fotovoltaicos en el mundo. Fuente: autores.

El aeropuerto internacional Logan (BOS) está ubicado en Boston en el estado de Massachusetts, cubre 965 ha, tiene 6 pistas y 4 terminales, la terminal de este aeropuerto fue la primera en recibir certificación LEED por parte del consejo de edificios verdes de los Estados Unidos y fue allí mismo en donde se contempló la instalación del primer sistema fotovoltaico en el año 2010, (Whiteman et al., 2015). El aeropuerto Internacional de Cochin (CIAL) en la India es reconocido a nivel mundial por ser el primero en generar toda su energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos, empezó a implementar sistemas fotovoltaicos en el año 2013 con la instalación y entrada en funcionamiento de la primera planta solar del estado de Kerala, con 1,1MW, para agosto de 2015 se inauguró una nueva planta de 12MW que consta de 46.150 módulos solares fijados en 18,2 hectáreas cerca al complejo de carga (Sukumaran & Sudhakar, 2017). El aeropuerto ecológico de Galápagos, único en Latino América y el Caribe con acreditación de neutralidad carbono cero acreditado por Airport Carbon Accreditation ACA, utiliza fuentes de generación alternativa, entre ellas fotovoltaica y eólica, lo que le permitió tal reconocimiento, además de ser el único

aeropuerto en la región que cuenta con la certificación LEED GOLD del consejo de construcciones verdes de los Estados Unidos (Contreras, 2013).

En Colombia la matriz energética depende en un 70% del recurso hídrico, tal dependencia ha llevado a que se esté cerca de un racionamiento durante las épocas de mayor sequía, es por ello que desde el 2014 la ley 1715 busca incentivar la inclusión de estas tecnologías al sistema interconectado nacional, mediante incentivos y la venta de excedentes a la red (Aldana Rodríguez, 2016).

En este trabajo se propone el diseño de un sistema solar fotovoltaico para el aeropuerto José María Córdova (SKRG) ubicado en Rionegro, Antioquia, para ello se parte de una revisión de las zonas aptas y recomendadas para la instalación del sistema, el diseño tiene en cuenta los riesgos que se pueden presentar y su mitigación para no afectar la seguridad aérea, además, se realiza un estudio de viabilidad mediante el software de uso libre RETScreen y un análisis de deslumbramiento que permita evaluar la viabilidad del proyecto.

Método

A. Ubicación

El aeropuerto Internacional José María Córdova (SKRG) se encuentra ubicado en el municipio de Rionegro, en el departamento de Antioquía y posee una zona de influencia constituida por el área metropolitana de valle de Aburrá, es el segundo a nivel nacional en flujo de pasajeros y movimiento de carga después del aeropuerto internacional El Dorado en Bogotá, la ubicación del aeropuerto se muestra en la Fig. 2.

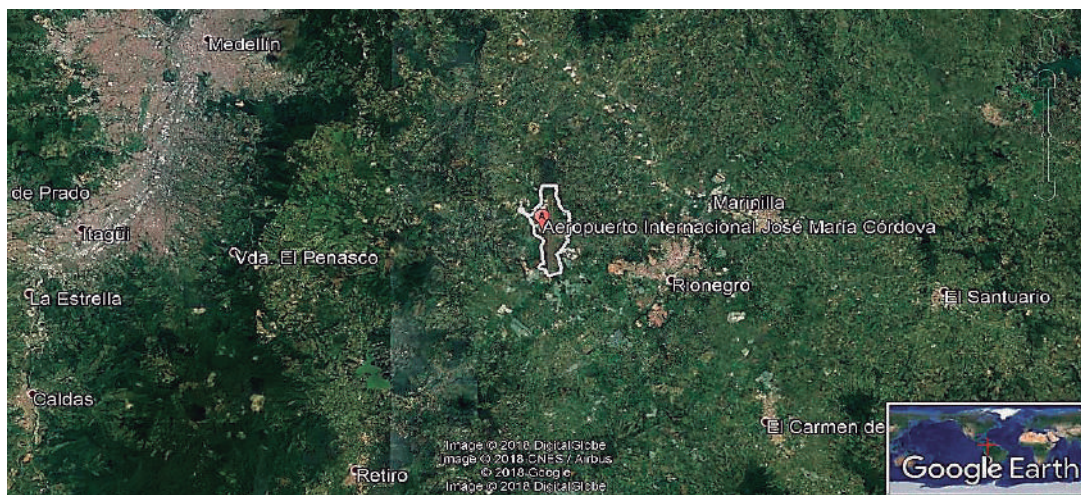


Fig. 2. Ubicación del aeropuerto José María Córdova. Fuente: autores.

B. Dimensionamiento

Datos generales

Dado a que la instalación solar fotovoltaica cuenta con unos equipos previamente adquiridos, estos se tendrán en consideración a la hora del dimensionamiento permitiendo una disminución de la inversión inicial a realiza, además de suponer que existe facilidad para contactar al proveedor. Para llevar a cabo la metodología previamente descrita, inicialmente debe esclarecerse la siguiente información correspondiente al sitio en el cual se llevará a cabo el proyecto.

a) Descripción General

El aeropuerto José María Córdova se encuentra situado en el municipio de Rionegro a 2.141 m sobre el nivel del mar, este posee un área total de 600 hectáreas y un área construida de $[68.400 \text{ m}]^2$. La Tabla 1 precisa las coordenadas geográficas del aeropuerto.

Tabla 1. Coordenadas geográficas SKRG.

Latitud	6° 09' 52,06" N
Longitud	75° 25' 22,80" O

Fuente: AIP aeropuerto José María Córdova.

El diseño propuesto tiene por objeto dimensionar una instalación solar fotovoltaica capaz de suministrar la energía eléctrica requerida por las cargas de iluminación del edificio que se sitúa entre el parqueadero y el domo (terminal) y que se muestra con más detalle en la Fig. 3



Fig. 3. Edificio Aerocivil.
Fuente: elaboración propia

El edificio en cuestión cuenta con 3 niveles, a continuación, se realizará una breve descripción de lo que se encuentra en cada uno de estos (Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil, 2000):

- 1) El primer nivel del edificio aloja la subestación de energía principal, el restaurante de la Aerocivil y la oficina de personal de seguridad.
- 2) En el segundo nivel se albergan las oficinas de policía de turismo, un auditorio y la zona de parqueaderos cubiertos.
- 3) El tercer nivel del edificio aloja las oficinas administrativas, 2 baterías de baño y una cafetería en servicio del personal administrativo.

Las oficinas de la administración se encuentran divididas en 17 dependencias así:

- ✓ Dirección Regional
- ✓ Control y Seguridad Aérea
- ✓ Aeronavegación
- ✓ Jurídica
- ✓ Bienestar Social
- ✓ Comunicaciones
- ✓ Soporte Técnico
- ✓ Pagaduría
- ✓ Gerencia
- ✓ Almacén
- ✓ Bomberos
- ✓ Compras
- ✓ Torre de Control
- ✓ Sistemas
- ✓ Central de Cuentas
- ✓ Sanidad Portuaria
- ✓ Saneamiento Ambiental
- ✓ Ingeniería Civil

En las siguientes figuras (*Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8*) se muestran algunos de los espacios anteriormente mencionados:



Fig. 4. Pasillos de áreas administrativas. Fuente: soporte técnico regional Antioquia.



Fig.5. Pasillos de soporte técnico y centro de control. Fuente: soporte técnico regional Antioquia.

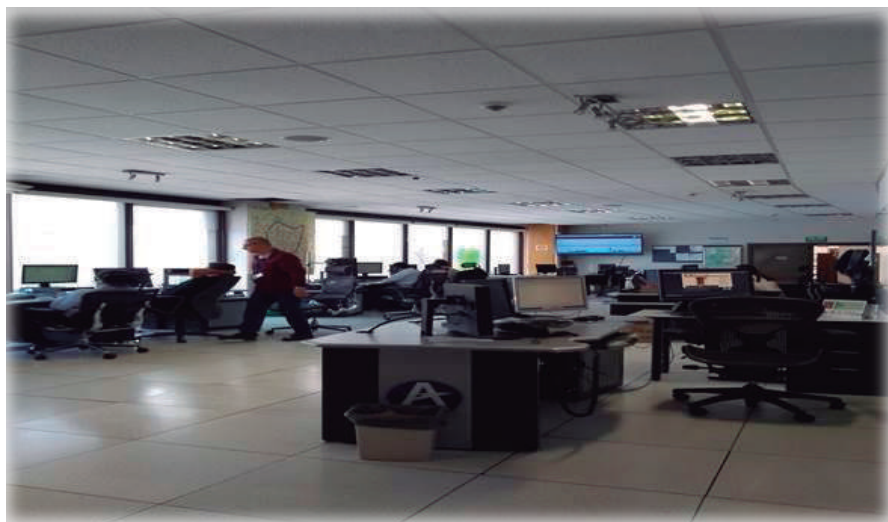


Fig.6. Centro de control. Fuente: soporte técnico regional Antioquia.



Fig. 7. Parqueaderos cubiertos. Fuentes: soporte técnico regional Antioquia.



Fig. 8. Soporte técnico y sistemas de comunicación. Fuente: soporte técnico regional Antioquia

b) Datos de radiación

Para llevar a cabo el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica se requiere conocer el recurso energético solar existente en la zona en la cual estará posicionada. Con el fin de conocer la radiación solar diaria promedio existente para cada uno de los

meses del año, se recurre a la base de datos meteorológicos de la fuente de información satelital de la NASA, los datos allí obtenidos son el resultado de evaluar un histórico de mediciones de radiación comprendido entre los años 1998 y 2010 en la ubicación geográfica oficial del aeropuerto SKRG, estos se encuentran relacionados en la Tabla 2.

Tabla 2. Radiación solar diaria horizontal mensual del aeropuerto José María Córdova

Mes	Radiación solar diaria horizontal ($kW\ m / d$)
Enero	4,45
Febrero	4,57
Marzo	4,63
Abril	4,34
Mayo	4,46
Junio	4,63
Julio	4,97
Agosto	4,94
Septiembre	4,64
Octubre	4,37
Noviembre	4,25
Diciembre	4,16
Promedio anual	4,53

Fuente: NASA (Surface Meteorology And Solar Energy)

Con el fin de que la instalación solar fotovoltaica garantice que durante todo el año se provea de energía eléctrica las cargas para la cual fue diseñada, en el dimensionamiento y respectivos cálculos se establecerá como valor de referencia la radiación del mes de diciembre es decir de 4,16 KWh/m²/d, dado a que este mes corresponde al menor valor de radiación registrado durante un año.

c) Determinación de la demanda de energía

El diseño del sistema fotovoltaico propuesto para la infraestructura que alberga la actividad administrativa del aeropuerto, tiene por objeto satisfacer la demanda energética de las cargas correspondientes a la iluminación de este.

La Fig. 8 asocia la potencia instalada de las cargas de iluminación de la zona de parqueo, del edificio (Sección A y B) y de la subestación eléctrica.

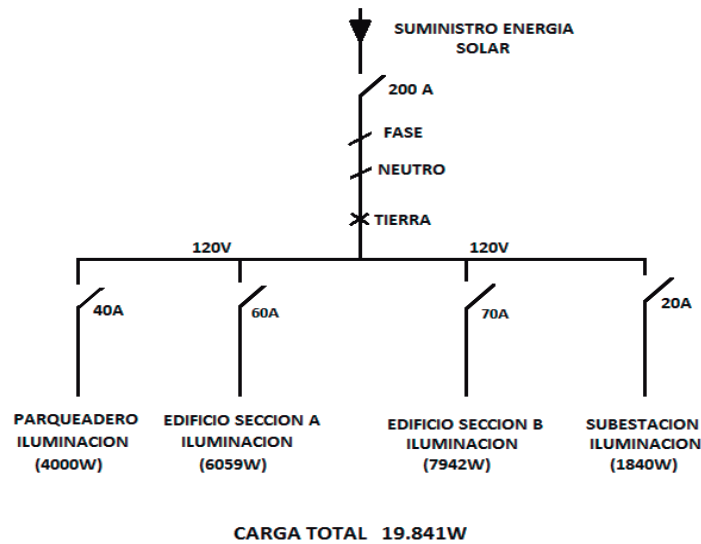


Fig. 9. Potencia de cargas de iluminación por secciones. Fuente: Soporte técnico regional Antioquia

Con base en la información suministrada, la Tabla 3 comprende de manera más detallada la información relacionada con la potencia, nivel de tensión y energía consumida por la iluminación de cada una de las zonas descritas en la Fig. 9.

Tabla 3. Cuadro de cargas a 120 V en AC

Voltaje de alimentación 120 V AC			
Carga de Iluminación	Potencia Total [kW]	# horas de uso[h]	Energía diaria [kWh-d]
Parqueadero	4	12	48
Edificio Sección A	6,059	10	60,59
Edificio Sección B	7,942	10	79,42
Subestación	1,84	5	9,2

Fuente: autores

La Tabla 4 muestra la potencia total y energía diaria total de la carga de iluminación de las zonas previamente descritas en la Tabla 3.

Tabla 4. Potencia instalada y energía diaria total consumida

Voltaje de alimentación 120 V AC	
Potencia total de la carga de iluminación [kW]	19,841
Energía diaria total consumida por la carga de iluminación [kWh-d]	197,21

Fuente: autores

d) Descripción de los equipos disponibles para la instalación solar fotovoltaica

El aeropuerto José María Córdova tiene a su disposición una serie de equipos para el montaje de una instalación fotovoltaica, características de estos equipos se relacionan en la Tabla 5:

Tabla 5. Características de equipos con que dispone la Aerocivil.

Componente	Referencia	Cantidad	Especificaciones				
			Parámetros de potencia, voltaje y corriente	Valor	Unidad de medida		
Módulos Solares	FNS-SP 300 WH	22	P _{MAX}	300	W		
			V _{MPP}	36	V		
			I _{MPP}	8,24	A		
			V _{OC}	45,2	V		
			I _{SC}	8,78	A		
			Parámetros de temperatura				
			T _{NOTC}	45	°C		
			Coefficiente de P _{MAX}	-0,44	%/°C		
			Coefficiente de V _{OC}	-0,34	%/°C		
			Coefficiente de I _{SC}	0,06	%/°C		

Fuente: autores

e) Temperatura mínima, media y máxima

Los valores de temperatura mínima, media y máxima que se registran a lo largo del año 2017 en el municipio de Rionegro, muestran un promedio de 17,4 °C, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Temperatura mínima, media y promedio

Mes	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Media (°C)	Temperatura Máxima (°C)
Enero	12,4	17,1	21,9
Febrero	12,9	17,6	22,3
Marzo	13,2	17,8	22,5
Abril	13,3	17,7	22,1
Mayo	13,4	17,8	22,2
Junio	13,1	17,6	22,2
Julio	12,3	17,2	22,2
Agosto	12,2	17,2	22,3
Septiembre	12,4	17,3	22,2

Octubre	12,7	17,1	21,5
Noviembre	12,7	17	21,4
Diciembre	12,6	16,9	21,3
Promedio		17,4	

Fuente: climate-data.org (DATA-ORG, 2017)

f) **Consumo energético mensual**

Se define el consumo energético mensual durante un año de las cargas correspondientes a la iluminación del edificio administrativo del aeropuerto. En este caso en particular, y dado a que solo es conocida la demanda de energía correspondiente a un día típico de consumo, el consumo mensual será producto de la demanda diaria de energía por el número de días pertenecientes a cada uno de los meses. La Tabla 7 muestra la información descrita:

Tabla 7. Consumo mensual estimado para las cargas de iluminación del edificio administrativo del José María Córdova

Consumo energético mensual			
Mes	Consumo diario de energía (KWh-d)	Ni	Ei (KWh-Mes)
Enero	197,21	31	6113,51
Febrero	197,21	28	5521,88
Marzo	197,21	31	6113,51
Abril	197,21	30	5916,3
Mayo	197,21	31	6113,51
Junio	197,21	30	5916,3
Julio	197,21	31	6113,51
Agosto	197,21	31	6113,51
Septiembre	197,21	30	5916,3
Octubre	197,21	31	6113,51
Noviembre	197,21	30	5916,3
Diciembre	197,21	31	6113,51

Fuente: autores

g) **Cálculo de Factor de seguridad (FS) y Factor de Rendimiento (PR)**

Una vez establecido el consumo energético mensual, se efectúan correcciones por temperatura al panel a fin de obtener el factor de seguridad y factor de rendimiento de la

instalación solar fotovoltaica. La tecnología del panel que será empleada para esta instalación será la misma que fue adquirida con anterioridad tal y como se indicó. Efectuadas las correcciones por temperatura, la condición en la cual se presenta mayor porcentaje de pérdidas de potencia generada por modulo es cuando este se encuentra operando a temperatura máxima, presentándose así perdidas de $\approx 14\%$. Por lo que:

$$F S (14\%) + (5\%) = 19\% \quad (1)$$

Finalmente, el factor de rendimiento será:

$$P R \quad 100\% - 19\% = 81\% \quad (1)$$

h) Dimensionamiento del generador solar fotovoltaico

Una vez obtenido el factor de rendimiento, se procede a evaluar la cantidad de potencia que deben generar los módulos fotovoltaicos a fin de abastecer la energía requerida por las cargas asociadas a la iluminación del edificio en cuestión. Empleando la ecuación (3), se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 8:

$$P_{GFV} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \frac{E_i}{HSS_i * N_i * PR}}{12} [KW] \quad (3)$$

En donde:

P_{GFV} , Potencia del generador solar fotovoltaico

E_i , promedio de electricidad mensual

HSS_i , número de horas de radiación promedio mes

N_i , número de días respecto al mes

PR , factor de rendimiento del sistema (asociado al factor de seguridad)

Tabla 8. Dimensionamiento generador solar fotovoltaico

Mes	Ei (KWh-Mes)	HSS	Ni	PR	PGFV (KW) - Mes
Enero	6113,51	4,45	31	0,81	54,71
Febrero	5521,88	4,57	28	0,81	53,27
Marzo	6113,51	4,63	31	0,81	52,58
Abril	5916,3	4,34	30	0,81	56,09
Mayo	6113,51	4,46	31	0,81	54,58
Junio	5916,3	4,63	30	0,81	52,58
Julio	6113,51	4,97	31	0,81	48,98
Agosto	6113,51	4,94	31	0,81	49,28
Septiembre	5916,3	4,64	30	0,81	52,47
Octubre	6113,51	4,37	31	0,81	55,71
Noviembre	5916,3	4,25	30	0,81	57,28
Diciembre	6113,51	4,16	31	0,81	58,52
Promedio					53,84

Fuente: autores

Cantidad total de módulos que constituyen el generador solar fotovoltaico

Con base en la metodología descrita, la cantidad total de módulos que constituirán la instalación solar conectada a red será de:

$$\# \text{ de paneles a emplear} = \frac{53,84 \text{ [KW]}}{0,30 \text{ [KW]}} \approx 180$$

Realizando la aproximación del número total de módulos requeridos, la instalación solar fotovoltaica generará una potencia total de:

$$P_{GFV} \text{ (corregida)} = 180 * 300 \text{ W} = 54 \text{ [KW]}$$

Características del Inversor de conexión a red

Una vez determinada la cantidad de módulos necesarios para satisfacer la demanda de energía, se procede a efectuar la búsqueda de un inversor que se acople a la red eléctrica. La red eléctrica que alimenta al aeropuerto José María Córdova se caracteriza por tener un nivel en baja tensión de 208 Voltios (L-L) y una frecuencia de 60 Hz. Producto de la búsqueda de diferentes referencias comerciales de inversores con una señal de salida con las mismas características de la red eléctrica, se determinó que el inversor de referencia Fronius Symo 10.0-3 208-240, resultaba ser una opción altamente factible para la instalación. La tabla 9 contiene las especificaciones técnicas del inversor que se empleará en la instalación solar con conexión a red:

Tabla 9. Especificaciones técnicas inversor referencia Fronius Symo 10.0-3 208-240

Fronius Symo 10.0-3 208-240	
Parámetros de entrada DC	
Potencia fotovoltaica recomendada (kWp)	8,0 – 13,0 kWp
Max. Corriente de entrada	25,0 / 16,5 A
Max. Total de corriente de entrada (MPPT1 + MPPT2)	41,5 A
Max. Corriente de cortocircuito (1.5 * I Max)	37,5 / 24,8 A
Tensión de entrada nominal	350,0 V
Rango de tensión de funcionamiento	200 – 600 V
Voltaje de arranque DC	200,0 V
Rango de voltaje MPP	300 – 500 V
Max. Voltaje de entrada	600,0 V

Parámetros de salida AC	
Max. Potencia de salida 208 V	9995 VA
Configuración de salida	3 ~ NPE 208/240 V
Rango de frecuencia	45 – 65 Hz
Frecuencia de funcionamiento nominal	60,0 Hz
Max. Corriente de salida 208 V	27,7 A
Tamaño del interruptor OCPD / AC 208 V	35 A
Max. Eficiencia	0,97

Fuente: autores

Arreglo de planes dispuesto por inversor

Con el objeto de maximizar la utilidad del inversor y que este opere de manera satisfactoria, se dispone de un arreglo de módulos de modo tal que los valores obtenidos para IG Y VG, se encuentren en correspondencia con los parámetros de entrada de este. Sumado a lo anterior, dicho arreglo debe de garantizar un factor de dimensionamiento dentro del rango recomendado. Con base en los criterios establecidos, se determinó que la configuración que mejor se adecuaba a los parámetros de entrada del inversor, además de aglomerar la mayor cantidad de módulos por inversor para así maximizar la relación beneficio-costos de la instalación es:

Tabla 10. Configuración constituida por 3 ramas en paralelo de 12 módulos en serie cada una por inversor.

Configuración	
Módulos en serie	12
Ramas en paralelo	3
Totalidad de módulos	36

Fuente: autores

Las tablas que a continuación se muestran (tabla 11 y tabla 12), contienen los valores de voltaje y corriente (incluidos los obtenidos por la corrección por temperatura) ocasionados por el arreglo de módulos conformado, es decir por la configuración establecida. Es posible evidenciar que todos los datos obtenidos, se encuentran dentro de los rangos operaciones del inversor.

Tabla 11. Valores de VG en función de la configuración establecida para el sistema interconectado

Parámetros	Valor	VG	Unidad
VMP	36,00	432,00	V
VMP mínimo (T. Máxima)	32,23	386,83	V
VMP mínimo (T. Mínima)	33,98	407,83	V
VMP mínimo (T. Media)	33,10	397,26	V
VOC	45,20	542,40	V
VOC mínimo (T. Máxima)	40,47	485,69	V
VOC mínimo (T. Mínima)	42,67	512,06	V
VOC mínimo (T. Media)	41,56	498,78	V

Fuente: autores

Tabla 12. Valores de IG en función de la configuración establecida para el sistema interconectado

Parámetros	Valor	IG	Unidad
ISC	8,78	26,34	A
ISC mínimo (T. Máxima)	8,94	26,82	A
ISC mínimo (T. Mínima)	8,86	26,59	A
ISC mínimo (T. Media)	8,90	26,71	A
IMP	8,24	24,72	A

Fuente: autores

i. Número total de inversores requeridos y factor de dimensionamiento

Finalmente, el número total de inversores que requiere la instalación es de:

$$\begin{aligned} \text{Totalidad de inversores para la instalacion} &= \frac{\# \text{ de paneles a empelar}}{\# \text{ de modulos agrupados por inversor}} \\ &= \frac{180}{36} = 5 \end{aligned}$$

Y el factor de dimensionamiento del inversor es:

$$F_{DI} = \frac{\approx 10 \text{ KW}}{10,8 \text{ KW}} = 0,925$$

ii. Número total de módulos e inversores requeridos

En síntesis, la instalación solar fotovoltaica conectada a red estará constituida por:

Tabla 13. Cantidad total de módulos e inversores requeridos para el sistema interconectado

Configuración	Totalidad de módulos por configuración	Numero de configuraciones a emplear	Número total de módulos	Número total de inversores
Módulos en serie	12			
Ramas en paralelo	3	36	5	180
				5

Fuente: autores

C. UBICACIÓN

Se realiza una delimitación de las zonas restringidas y permitidas para la instalación de los módulos solares, en la Fig. 10 se muestra en rojo aquellas zonas en donde por el riesgo a la aviación y la invasión al espacio aéreo son restringidas y por ende bajo ninguna circunstancia se puede ubicar ningún tipo de sistema o módulos fotovoltaicos, en ella también se encuentra el área de protección a la torre de control (ATCT) para evitar cualquier riesgo por interferencia electromagnética. En azul (con transparencia) se ubica el área total en donde dada su distancia a las pistas o zona de movimiento de aeronaves se permite instalación de módulos; en azul (sin transparencia) se muestran aquellas zonas en donde dadas sus características de terreno, cercanía con edificios o a subestaciones eléctricas (como la zona adyacente al área militar) son recomendadas para instalar los sistemas contemplados, para la selección de las zonas recomendadas mostradas en la Fig. 9 se tomó bajo consideración la cercanía con las cargas, en la tabla 14 se relaciona las zonas y la distancia a las cargas.

Tabla 14. selección de ubicaciones con base en distancia a las cargas.

Zona	Distancia a edificio
Extremos de la plancha del edificio a iluminar	50 m
Zona de parqueadero particular	80 m
Zonas verdes adyacentes al parqueadero	175 m
Techo de centro de mantenimiento, hangar y bomberos	450 m
Techo de la terminal de carga	500 m
Techo de hangar norte	1000 m
Zonas verdes adyacentes al área militar	800 m

Fuente: autores

Se seleccionan las áreas dentro de los 200 metros de cercanía a la carga, por lo cual los extremos de la plancha del edificio, la zona de parqueaderos descubiertos para particulares y las zonas adyacentes a los mismos son contempladas en primera instancia, se hace la aclaración que se toma exclusivamente los extremos de la plancha dado que la zona restante está restringida por la cercanía a la torre de control, la delimitación de zonas se muestra en la Fig. 10.

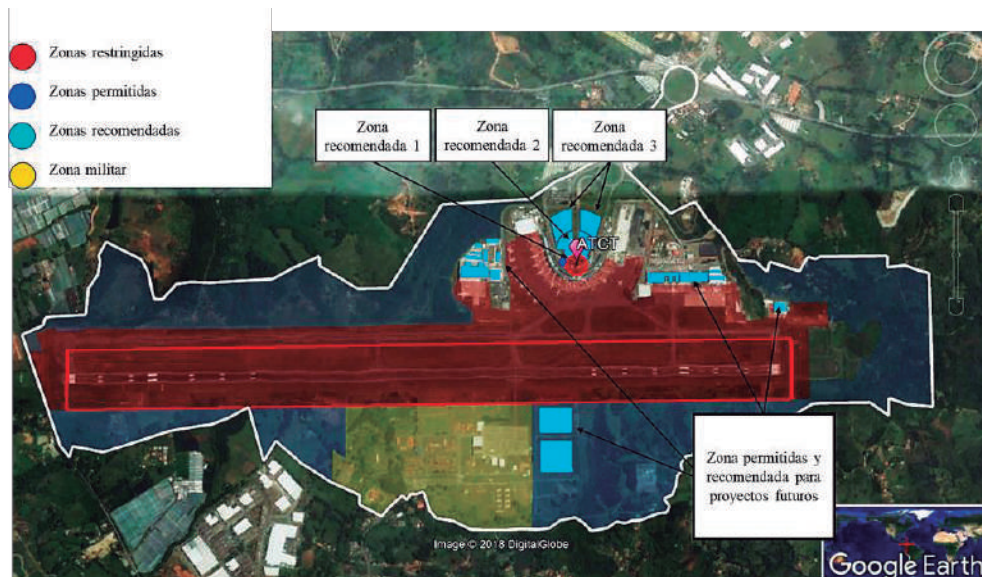


Fig. 10. Zonas recomendadas para ubicar la instalación fotovoltaica. Fuente: autores.

La zona recomendada uno (plancha del edificio) por su cercanía a las cargas, los bajos costos por alistamiento de terreno, soportes y mínimas pérdidas y costos de conductores pueden representar una opción muy viable, sin embargo por las restricciones de seguridad operacional su área aprovechable es muy limitada.

El área dos (parqueaderos) puede ser en un primer momento una de las opciones más llamativas por el doble propósito que puede desempeñar, producir energía y dar sombra a los vehículos que allá se encuentran, sin embargo, por la dimensión del área de estacionamiento solo se podría cubrir cerca de una cuarta parte con los módulos, por lo que estéticamente no sería la opción mas conveniente, además, las estructuras necesarias para la adecuación de los mismos representaría un valor elevado que aumentaría considerablemente la inversión inicial.

El área tres (zona verde adyacente) es un terreno plano y la disposición de los módulos puede ser de tal manera que se aproveche lo máximo posible la radiación solar, allí se tienen un gran espacio en donde pueden ser ubicados la totalidad de módulos sin restric-

ción alguna, sin embargo la distancia hasta las cargas puede representar un aumento sustancial de los costos por conductores, obras e instalaciones adicionales por encontrarse a la deriva, otro valor que se incrementa considerablemente son las estructuras de soporte necesarias para la ubicación en esta zona, a pesar de ello es un área factible para la instalación

Con base en lo anteriormente planteado se han seleccionado el área de la plancha del edificio para la ubicación del sistema, la tabla 15 muestra las características de la zona seleccionada.

Tabla 15. Ubicaciones recomendadas para el sistema

Zona	Ubicación	Área de la zona (m ²)	Tipo de sistema a ubicar	Área requerida por el sistema (m ²)	Distancia a la torre de control (m)
1	Extremos de plancha del edificio de la Aerocivil	595	interconectado	450	50

Fuente: autores

En la Fig. 11 se muestra la zona recomendada para la instalación de los módulos fotovoltaicos.



Fig. 11. Área recomendada para la instalación de los módulos solares. Fuente: Autores.

Análisis de deslumbramiento para ubicación del sistema interconectado

a. Configuración del sistema

En primera instancia se definió la ubicación del sistema y de los observadores (ATCT y rutas de vuelo) en la Fig. 12 se muestra la configuración inicial para realizar el análisis.



Fig. 12. Configuración de elementos en ForgeSolar. Fuente: Forgesolar.

Las consideraciones para los módulos solares y los observadores se muestran en la Tabla 16

Tabla 16. Configuración avanzada para ejecución de análisis en ForgeSolar

Elemento	Parámetro	Unidad	Valor
Módulos	Altura sobre el suelo	M	19,95
	Inclinación	°	6,1
	Acimut	°	180
	Orientación	Sur	
	Material del panel	Vidrio liso sin recubrimiento anti-reflectivo	
	Tipo de sistema	Fijo (sin seguimiento solar)	
ATCT	Altura	M	40
Rutas de vuelo	Pendiente de planeo	Deg	3
	Altura de cruce de umbral	M	15,24 m
	Ángulo de visión descendente máximo	Deg	30
	Ángulo de visión azimuthal	Deg	50
	Altura sobre dos millas	M	17418,1 m

Fuente: autores

Adicional a ello la herramienta trae unos valores predeterminados de análisis y características del ojo del observador:

- ✓ Intervalo de tiempo de análisis: 1 minuto
- ✓ Coeficiente de transmisión ocular: 0,5
- ✓ Diámetro de la pupila: 0,002 m
- ✓ Distancia focal del ojo: 0,017 m

b. Resultados sobre observador ATCT

Dado que no se presenta ningún tipo de deslumbramiento de ningún tipo sobre LOS controladores aéreos, no se genera ninguna gráfica representativa.

c. Resultados sobre observador en cabina

Dado que no se presenta ningún tipo de deslumbramiento de ningún tipo sobre pilotos, no se genera ninguna gráfica representativa.

d. Resultados generales

En la tabla 17 se muestran los resultados generales de deslumbramiento para el siste-

ma propuesto.

Tabla 17. Resultados generales de análisis de deslumbramiento sobre sistema interconectado

Observador	Duración deslumbramiento (minutos-anales)	verde	Duración deslumbramiento amarillo (minutos-anales)
ATCT	0		0
Ruta de vuelo norte	0		0
Ruta de vuelo sur	0		0
Total	0		0

Fuente: autores

D. Evaluación de factibilidad financiera mediante RETScreen

La evaluación técnica, ambiental y financiera se realiza mediante el software de energías limpias RETScreen, primero se muestra en la tabla 18 los parámetros iniciales con que fue configurado y luego se detalla en la tabla 19 los resultados obtenidos producto del estudio; en los parámetros en que así se requiera se darán observaciones que aclaren el valor ingresado.

Parámetros iniciales

Tabla 18. Parámetros iniciales para análisis en RETScreen, caso sistema interconectado.

Parámetro	Unidad	Valor	Observación
Punto de referencia	COP	399,5	(1)
Modo de rastreo solar	-	Fijo	
Inclinación	°	6,1	
Azimut	°	0	
Tipo de panel	-	Mono-si	
Capacidad de cada panel	W	300	
Fabricante	-	China Sunergy	
Número de unidades	Módulos	180	
Potencia instalada	kW	54	
Pérdidas varias	%	19	
Eficiencia del inversor	%	97	
Capacidad	kVA	10	

Costos iniciales	COP	241'775.660	(2)
Costos de operación y mantenimiento anual	COP	2'700.000	(3)
Factor de emisión de GEI	t^2 / MWh	0,199	(4)
Pérdidas por transmisión y distribución	%	5	(5)
Tasa crédito reducción de GEI	$COPt^2$	0	
Tasa de inflación	%	4,09	(6)
Tasa de descuento	%	9	(7)
Tasa de reinversión	%	9	(8)
Tiempo de vida del proyecto	Años	25	(9)
Incentivos y donaciones	COP	44'987.375	(10)
Tasa efectiva del impuesto a la renta	%	33	(11)
Base tributaria de depreciación	%	80	(12)
Duración de exención de impuesto	Años	5	(13)

Fuente: autores

- (1)** Como punto de referencia se agregó la tarifa por kWh suministrada por la Aerocivil regional Antioquia.
- (2)** Los costos iniciales del proyecto se basan en el dimensionamiento realizado con antelación, algunos de ellos son valores basados en proyectos de similares características.
- (3)** Los costos por mantenimiento anual fueron basados en las bases de datos disponibles del software RETScreen, dado que para esta potencia no se tiene un valor en específico se realizó una regla de tres para conocer dicho costo.
- (4)** El factor de emisión para Colombia lo calcula la UPME, para el sector electricidad es de 0,199 tCO_2/MWh .
- (5)** Para las pérdidas por transmisión y distribución se asumió un valor típico de 5%.
- (6)** La tasa de inflación requerida para el análisis financiero se tomó de 4,09% como el valor acumulado para el último año, cabe resaltar que el software toma este mismo valor como tasa de escalamiento de electricidad a la red.
- (7), (8)** La tasa de descuento y tasa de reinversión se tomaron directamente de los valores típicos que trae el software.
- (9)** El tiempo de vida del proyecto se proyectó a 25 años, esto como un valor típico en este tipo de instalaciones.
- (10)** Los incentivos y donaciones de este proyecto son producto de la ley 1715, para este caso con base en la UPME se eximió de impuestos y aranceles a los productos a que aplica tal ley.
- (11)** Para realizar el análisis de impuesto a la renta se requiere la tasa efectiva de este impuesto, se toma de 33%.
- (12)** Con base en los equipos y servicios necesarios para la ejecución del proyecto se

toma 80% como base tributaria de depreciación.

(13) El software permite realizar el estudio con una exención de impuestos producto de leyes que así lo disponga, para esta simulación se tomó una exención de este impuesto por 5 años.

Resultados del análisis

Tabla 19. Resultados de análisis realizado en RETScreen, caso sistema interconectado

Parámetro	Unidad	Valor
Electricidad exportada a la red	MWh	67,6
Ingresos por exportación de electricidad	COP	26'993.778
Reducción anual bruta de emisiones GEI	$t\ O_2$	14,5
Litros de gasolina dejada de consumir	Litros	6.237
TIR antes de impuestos	%	16,1
TIR luego de impuestos	%	13,7
Pago simple de retorno de capital	Años	8,1
Repago – capital	Años	7,5
Valor presente neto	COP	89'395.464
Ahorro anual en ciclo de vida	COP	9'101.017
Relación beneficio costo	-	1,4

Fuente: autores

Con un costo del proyecto estimado de 242 millones se obtienen los resultados mostrados en la tabla 19, en donde el tiempo de retorno de la inversión (Pago simple de retorno de capital) se da a los 8,1 años, esto mismo se puede observar en el flujo de caja presentado en la figura 13; es de resaltar que este proyecto llega a significar la reducción de 14,5 toneladas de CO_2 al año, lo que significa dejar de consumir 6.237 litros de gasolina.

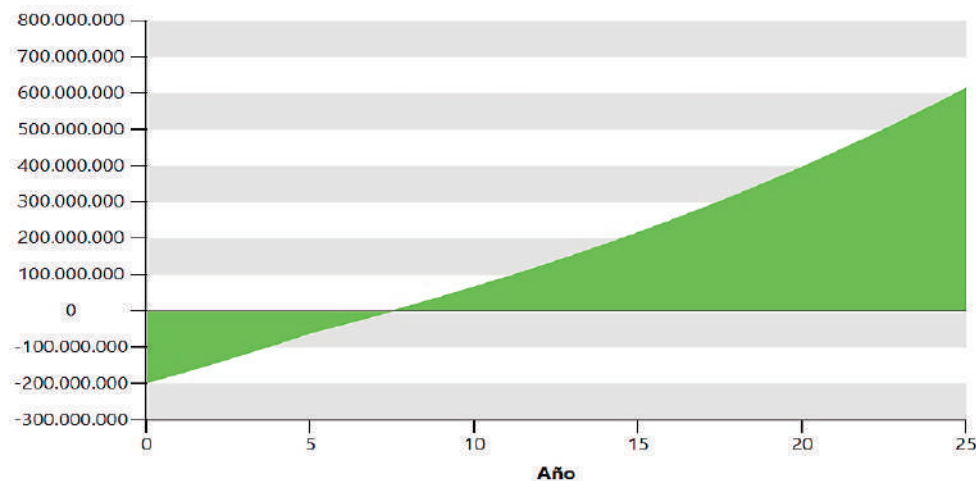


Fig. 13. Flujo de caja. Fuente: RETScreen

Conclusiones

El aeropuerto José María Córdova cuenta con un importante recurso solar, que para la peor condición en el mes de diciembre es de $4,16 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$, si ello se contrasta con las zonas libres y aprovechables para la instalación de sistemas fotovoltaicos, se podría generar la totalidad de la energía eléctrica requerida por el aeropuerto, además, en muchos de los aeropuertos operados por la Aerocivil y en concesión poseen un alto nivel de radiación solar, en donde la mayoría de ellos tienen un valor superior a los $4 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$.

Para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en aeropuertos es vital seleccionar las ubicaciones seguras que de ningún modo lleguen a interferir con las operaciones aéreas, para eso es necesario delimitar las zonas restringidas, además se debe evaluar los posibles riesgos a los que se puede ver expuesta la seguridad operacional; el deslumbramiento y la interferencia electromagnética son los más comunes, sin embargo, si su instalación se da en tierra sobre áreas más cercanas a las pistas se debe buscar que de ningún modo exista desprendimiento de partes que puedan llegar a zonas de movimiento de aeronaves.

La herramienta de análisis de deslumbramiento fotovoltaico (ForgeSolar) reúne las características suficientes para realizar un completo estudio que evalúe los riesgos oculares a los que se pueden exponer los controladores y pilotos, para el caso estudiado se evidencia que la zona sin ningún tipo de deslumbramiento se encuentra a los extremos del edificio; por el contrario, en la zona verde seleccionada se encuentra un leve deslumbramiento uniforme que podría ser fácilmente mitigado mediante la instalación de películas antirreflectivas y/o protección ocular (como persianas) en la torre de control.

En la concepción de nuevos aeropuertos se debe pensar en sistemas bioclimáticos y de aprovechamiento de la luz natural, con ello serían inferiores las necesidades energéticas y por ende las áreas requeridas para la instalación de módulos solares u otros sistemas de generación sería mucho menores, además se puede buscar que la ubicación de estos sistemas otorgue un doble propósito al aeropuerto, como lo es el de brindar sombra a vehículos y/o usuarios y la generación eléctrica.

Los techos de las terminales se pueden considerar una de las opciones más viables para instalar módulos solares en aeropuertos, allí se tiene una exposición constante al sol sin mayores obstrucciones físicas que puedan llegar a producir sombra sobre los módulos, además los costos de instalación son bajos y las cargas se encuentran muy cerca del sistema de generación.

Se debe empezar a contemplar normativa y guías técnicas que abarquen la instalación de sistemas solares en aeropuertos, esto con el fin de que su instalación no se haga sin seguir las medidas suficientes para evitar peligros en la operación y en sistemas de comunicación, la metodología aquí planteada propone unos lineamientos iniciales para la estructuración de estas guías.

Debido a que el dimensionamiento de los sistemas debía emplear equipos provenientes de un proyecto piloto ejecutado previamente, ello imposibilitó emplear dispositivos que tuviesen una mayor eficiencia y capacidad, con lo que posiblemente se hubiese obtenido, una menor cantidad de equipos requeridos y una tasa de retorno más rápida.

Análisis de los resultados

El estudio financiero demostró que para darle viabilidad a proyectos de este tipo se hace necesaria la aplicación a incentivos como los que se contemplan en la ley 1715, sin embargo, si se desea que se fortalezca este tipo de proyectos en espacios aeronáuticos se debe contemplar desde la Aerocivil una serie de incentivos a los aeropuertos que los implementen, adicional a ello, el pago de créditos por reducción de gases efecto invernadero (GEI) podría representar otro estímulo a la ejecución de estas propuestas.

Referencias

Air Transport Action Group. (2015). Aviation Climate Solutions. Retrieved from <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/our-climate-plan/aviation-climate-solutions-report>

Airports Council international. (2010). *Manual de Orientación: Gestión de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en los Aeropuertos*. Retrieved from http://www.aci.aero/Media/aci/file/Publications/2010/Manual_de_orientacion-Gestion_de_las_emisiones_de_gases_de_efecto_invernadero_en_los_aeropuertos.pdf

Aldana Rodríguez, L. L. (2016). *Análisis del impacto de la ley 1715 de 2014 en la viabilidad de proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable en Colombia*. Universidad de los Andes. Retrieved from <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/7270>

Anurag, A., Zhang, J., Gwamuri, J., & Pearce, J. M. (2017). General Design Procedures for Airport-Based Solar Photovoltaic Systems. *Energies*, 10(8), 1194. <https://doi.org/10.3390/en10081194>

by Jake Plante, P., Inc for FAA Airport Planning, H., & Division, E. (2012). Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports Federal Aviation Administration. Retrieved from https://www.faa.gov/airports/environmental/policy_guidance/media/airport-solar-guide.pdf

Clifford K, H., & Cianan A, S. (2013). *Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) User's Manual v. 2.0*. Retrieved from https://share.sandia.gov/phlux/static/references/glint-glare/SGHAT_Users_Manual_v2-0_final.pdf

Contreras, C. (2013). PROYECTO DE AMPLIACIÓN Y MEJORAS AEROPUERTO INTERNACIONAL (ECOLÓGICO) DE GALÁPAGOS, ECUADOR. *Zofnass de Harvard*. Retrieved from <http://research.gsd.harvard.edu/infrastructure360/listing/international-ecological-airport-in-galapagos/>

DATA-ORG. (2017). Clima Rionegro: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Rionegro - Climate-Data.org. Retrieved June 29, 2018, from <https://es.climate-data.org/location/50293/>

Hayward, M. (2012). Airport controllers complain of solar panels' glare | New Hampshire. Retrieved July 10, 2018, from <http://www.unionleader.com/article/20120830/NEWS02/708309966>

Kandt, A., & Romero, R. (2014). Implementing Solar Technologies at Airports. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62349.pdf>

Mostafa, M. F. A., Aleem, S. H. E. A., & Ibrahim, A. M. (2016). Using solar photovoltaic at Egyptian airports: Opportunities and challenges. In *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)* (pp. 73–80). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEPCON.2016.7836874>

Mostafa, M. F. A., Aleem, S. H. E. A., & Zobaa, A. F. (2016). Risk assessment and possible mitigation solutions for using solar photovoltaic at airports. In *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)* (pp. 81–88). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MEPCON.2016.7836875>

Ortega Alba, S., & Manana, M. (2016). Energy Research in Airports: A Review. *Energies*, 9(5), 349. <https://doi.org/10.3390/en9050349>

Sukumaran, S., & Sudhakar, K. (2017). Fully solar powered airport: A case study of Cochin International airport. *Journal of Air Transport Management*, 62, 176–188. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.04.004>

Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil. (2000). Plan Maestro Aeropuerto José María Córdova. Retrieved from https://www.ccoa.org.co/Portals/0/plan_maestro_aeropuerto_jose_maria_cordova-115140-1.pdf

Whiteman, A., Bannard, D., Smalinsky, T., Korovesi, I., Plante, J., & DeVault, T. (2015). *Renewable Energy as an Airport Revenue Source*. Washington, D.C.: Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/22139>

Anexos

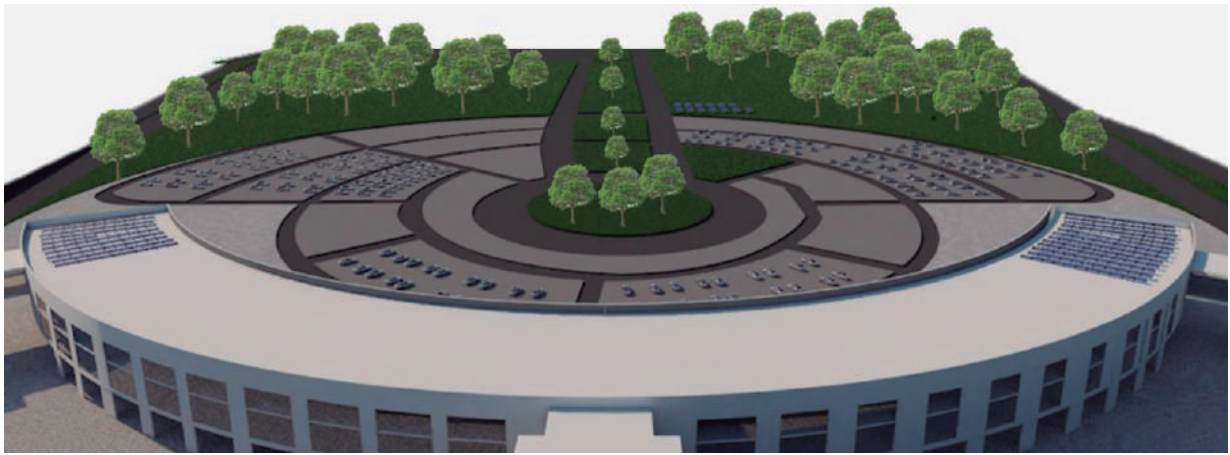


Fig. 14. Diseño 3D del sistema fotovoltaico ubicado. Fuente: autores.

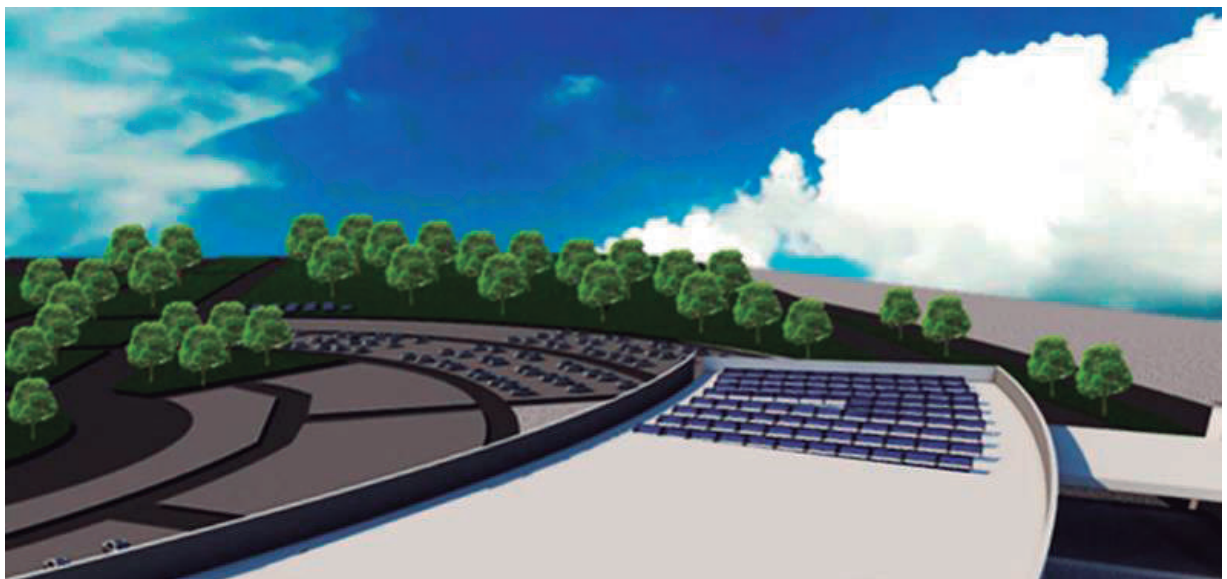


Fig. 15. Diseño 3D del sistema fotovoltaico ubicado. Fuente: autores.



CAPITULO 5

ESTRUCTURA METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE IMÁGENES SATELITALES EN LA IDENTIFICACIÓN DE NUBES CONVECTIVAS QUE AFECTAN LA AVIACIÓN

Como citar esta Sección 1

Sierra, I. Moreno, N. Barrera, R. Martinez A. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos. Estructura metodológica para el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan la aviación. En A. d. Martinez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.

Estructura metodológica para el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan la aviación

*Ingrid Tatiana Sierra Giraldo*¹
*Nayibe Moreno Bernal*²
*Richard Hernán Barrera Lombana*³
*Alicia del Pilar Martínez Lobo*⁴

Resumen

Este capítulo es el resultado de investigación del proyecto “Estructura metodológica para el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan la aviación”, se presenta en tres momentos: El primero corresponde a una revisión teórica en la cual se abarca los conceptos generales en Meteorología Aeronáutica referentes a la actividad convectiva y la evolución de nubes de gran desarrollo vertical como fenómeno que se presenta en las nubes tipo cúmulo, torrecúmulo y cumulonimbus y su importancia en el sector del transporte modo aéreo. En el segundo momento se hace una revisión conceptual correspondiente al conocimiento de la serie de satélites meteorológicos desarrollados en conjunto por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y específicamente el satélite GOES -16, el cual es el referente de observación meteorológica en cuanto a imágenes de satelitales para la Aerocivil y otras entidades de monitoreo atmosférico en Colombia, se muestra las características más relevantes e importantes que presenta éste satélite, características que van desde sus modos de escaneo, la descripción de las 16 bandas espectrales en el sensor ABI (Advanced Baseline Imager) y se detallan los diferentes objetos teledetectados y metodologías que han sido aplicadas para la detección de la actividad convectiva por medio de imágenes de satélites meteorológicos. Se finaliza en un tercer momento con cuatro aspectos relevantes, en el primero se hace una descripción de la operación del sensor ABI a bordo del satélite GOES -16, el segundo es una descripción de los productos meteorológicos y la grilla de proyección de las imágenes, seguido de una descripción de los métodos y medios en la actualidad para la obtención y observación de las imágenes, por último, se describe el trabajo realizado y el procesamiento de las imágenes satelitales obtenidas.

Palabras claves:

Imágenes satelitales, Satélite GOES-R, Nubes convectivas, Meteorología Aeronáutica, Cumulonimbus, Metodología para detección de actividad convectiva

¹ Grupo de Investigación Académica Aeronáutica Civil Centro de Estudios Aeronáuticos - CEA

Av. Eldorado 103-15 – Bogotá ingrid.sierra@aerocivil.gov.co itatianasierra@gmail.com

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Catastral y Geodesia nayibe.moreno@aerocivil.gov.co nmorenob@correo.udistrital.edu.co

³ Grupo Académico Aeronáutica Civil Centro de Estudios Aeronáuticos - CEA

Av. Eldorado 103-15 – Bogotá richrd.barrera@aerocivil.gov.co richyher@yahoo.es

⁴ Grupo de Investigación Académica Aeronáutica Civil Centro de Estudios Aeronáuticos – CEA
Alicia.martinez@aerocivil.gov.co y alicia.martinezlobo@gmail.com

I. Introducción

En la Meteorología Aeronáutica una de las situaciones atmosféricas de mayor relevancia es la actividad convectiva, ésta surge de una correlación específica entre las variables de la atmosfera y a su vez en conjunto conllevan a la evolución de nubes de gran desarrollo, que muchas veces finaliza con el nacimiento de precipitaciones o de diversos meteoros acompañados con la sucesión de tormentas eléctricas (si se habla de sistemas convectivos), a continuación se incorporaron los conocimientos frente a la formación de nubes y la importancia que ésta formación representa en las operaciones aéreas, cabe así anotar que en tanto a la meteorología aeronáutica, ésta se encarga del estudio de fenómenos que principalmente afectan de alguna manera la aviación (Velazquez Machain, 1999)".

Para la identificación de este tipo nubosidad se utilizan técnicas de observación entre ellas la llamada teledetección o comúnmente reconocida también percepción remota, se define como "aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales" (Chuvienco, 1995).

Si bien la definición anteriormente vista enmarca la superficie de la tierra, no deja de lado los fenómenos detectables en la atmosfera terrestre. Los satélites especializados para la observación atmosférica como GOES-16 presentan ciertas ventajas, principalmente por su órbita geoestacionaria, lo que permite el monitorio constante de una región específica del planeta.

Conocer las ventajas de éste satélite permite tener una mayor apropiación del conocimiento y mayor aplicación de los conceptos teóricos que tengan tanto investigadores como profesionales en temas de teledetección atmosférica y más específicamente, en temas que pertenecen a la meteorología aeronáutica, por lo que a continuación se desarrollan nociones del tema con el fin de entender este recurso disponible y hacer mejor uso del mismo, para llegar finalmente a proponer una metodología adaptada para el mejoramiento día a día de las operaciones aéreas y del entendimiento de las condiciones del tiempo actual en Colombia y en el mundo.

La Unidad Administrativa Especial de Aviación Civil (UAEAC o Aerocivil) tiene entre sus objetivos, el mejoramiento de los niveles de seguridad operacional del transporte aéreo, lo que conlleva al buen funcionamiento de los Servicios a la Navegación Aérea (por sus letras en inglés ANS), de los cuales hace parte el Servicio de Meteorología Aeronáutica (MET). Éste se presta por parte de la Aerocivil y por quien ella como "Autoridad aeronáutica" así designa (OACI, 2016); se encarga de monitorear y reportar periódicamente el estado del tiempo en los aeródromos y en rutas aéreas, con el fin de dar de manera precisa y oportuna las condiciones atmosféricas necesarias para el buen uso del espacio aéreo y el buen seguimiento de las operaciones aéreas, como también para la generación de pronósticos (UAEAC, 2018).

Para proveer un Servicio de Navegación Aérea, "seguro, regular y eficiente" (fin del Servicio de Meteorológico Aeronáutico (OACI, 2016)), se estudia la identificación de nubes convectivas, desde su detección y ciclo de vida, en particular este es un elemento de vital importancia como herramienta pre-táctica y táctica para la navegación aérea, en consideración del peligro que esta nube representa.

En la Aeronáutica Civil, se tenía solo un par de estudios y el conocimiento por juicio de experto de las imágenes satelitales, que han sido estudiado no muy a fondo, ni de forma metodológica ya que al momento sólo se hace un trabajo netamente operativo, siendo este ocasiones de carácter subjetivo, por la falta de procedimientos o métodos estandarizados; situación que se atenúa en diciembre del 2018, con la adquisición del sistema de imágenes del nuevo satélite GOES-16, ya que se amplía el rango de productos ofrecidos y su poco conocimiento de los mismos.

Por lo que es aquí que yace la necesidad de una metodología que permita la clasificación de nubes, especialmente las de tipo convectivo, para el Servicio Meteorológico

Aeronáutico, que pueda contribuir a la misión de la meteorología aeronáutica, y hacer un mejor uso de los productos satelitales proporcionados por el satélite GOES-16, por parte del Grupo de Meteorología Aeronáutica, y a su vez por los controladores aéreos y demás personal involucrado en la operación y quienes cumplen funciones o interés de este tipo.

Este capítulo establece una metodología para la identificación y parametrización, por medio del análisis de imágenes satelitales de nubes convectivas que afectan la operación aérea. Para el desarrollo de éste trabajo de investigación se plantea una consecución de pasos que permitan la detección clara de las imágenes, en las siguientes fases:

- a. Clasificación de las nubes de interés: Como existen una gran variedad y clasificación de nubes, es pertinente seleccionar las nubes de tipo convectivo según las descripciones de observación y percepción remota ya sea por su forma y altitud.
- b. Dinámica de las nubes convectivas: Posterior a la descripción de las nubes de interés, se hace pertinente conocer y describir el ciclo de desarrollo de las nubes convectivas para poder determinar su estructura.
- c. Las nubes convectivas en la Aviación: Se involucra en este capítulo cómo impacta el fenómeno de la tormenta eléctrica en la aviación, retomando un caso de estudio anterior, para el aeródromo de mayor flujo de tránsito aéreo en Colombia.
- d. Información importante acerca del satélite GOES-16: Se realiza un recuento del lanzamiento de los satélites serie GOES-R, una verificación de su instrumental principal, y a partir de las propiedades de cada banda, se establece la importancia de cada una y su principal función, esto a través de la información suministrada del satélite y demás plataformas virtuales. Es importante conocer las propiedades radiativas de cada banda, con el fin de observar cómo se comportan y visualizan las nubes de acuerdo con su cómo su composición, ya que los objetos se reaccionan de diferente manera dependiendo del espectro de onda.
- e. Metodologías para la detección de actividad convectiva por medio de imágenes de satélites meteorológicos: Para empezar a generar una metodología de identificación de nubes convectivas, es necesario indagar acerca de los métodos que se han implementado en el campo específico, con el fin de tener una aproximación teórica y metodológica del campo, ya que la teledetección es una rama ampliamente

estudiada, y sus aplicaciones a la meteorología han sido extensamente estudiadas. También es importante el estudio específicamente en regiones del trópico.

- f. Descarga y características de imágenes satelitales del estudio: Se indica la forma de descarga de imágenes satelitales por medio de herramientas web. Se realizan pruebas de validación teniendo ya seleccionada el método más pertinente y el software, se realizan las pruebas con imágenes satelitales. Se plantea en un principio la detección de nubes convectivas por medio de parámetros como brillo, temperatura y altura.
- g. Estandarización de una metodología de identificación: Como resultado de la investigación, se plantea una serie de pasos con aplicabilidad para el Servicio Meteorológico Aeronáutico, con ello, las observaciones pertinentes a nubes precipitantes y asociadas a tormentas eléctricas se harán de manera más precisa y pertinente para la observación meteorológica aportando una técnica a la operación aérea en Colombia.

II. Clasificación de nubes de interés

Para hablar de nubes el principal término de interés es el concepto de meteoro, el cual es un fenómeno observado en la atmósfera o sobre la superficie de la tierra, que consiste en una suspensión, una precipitación, o algún tipo de interacción de sus partículas que pueden ser líquidas, acuosas o no, o de partículas sólidas (OMM, 1993). Dentro de los cuatro grandes tipos de meteoros, se encuentra hidrometeoros, litometeoros, fotometeoros y los electrometeoros. Según esto, las nubes entran en la definición de hidrometeoros como partículas acuosas (en cualquiera de sus estados sólida como “hielo”, líquida como “agua” y gaseoso como “gases”).

En este orden de ideas, en este documento, las nubes convectivas son el principal tema de interés en el cual, se identifican las nubes cúmulos, cumulonimbus y torrecúmulos. A continuación, se realiza conceptualización introductoria a este tipo de nubes según el atlas internacional de nubes (Manual de observación de nubes y otros meteoros) emitida por la OMM.

Estas nubes, son de gran importancia en el ámbito aeronáutico, porque la dinámica

intranube hace que en su evolución se asocien a fenómenos como, vientos cortantes (vientos ascendentes y descendientes de fuerte intensidad), engelamiento, granizo, descargas eléctricas entre otros, siendo algunos de los fenómenos que causan mayor afectación en los vuelos, y llegan a ocupar un gran porcentaje en las investigaciones realizada dentro de las causas en los accidentes aéreos.

- a. Cúmulos: En su definición enmarcada en el atlas de nubes por su forma se definen como,

(...)nubes con apariencias densas y con contornos bien definidos, que se desarrollan verticalmente en forma de protuberancias, cúpulas o torres, y cuyas partes superiores convexas se parecen con frecuencia a una coliflor. Las partes de estas nubes iluminadas por el Sol son, en su mayoría, de un blanco brillante; su base es relativamente oscura y casi horizontal. El carácter de la precipitación puede ayudar por consiguiente a distinguir el Cumulus de otras nubes; si la precipitación es del tipo chaparrón, la nube es Cumulus. Dado que el Cumulonimbus es generalmente consecuencia del desarrollo y transformación del Cumulus, a veces es difícil distinguir entre Cumulus de gran extensión vertical y Cumulonimbus. La nube debiera ser designada Cumulus, siempre y cuando las partes superiores brotadas estén claramente definidas y no se manifieste textura fibrosa o estriada. Por convección, si no es posible decidir con base a otro criterio, si una nube debe ser identificada como Cumulus o Cumulonimbus debería llamarse Cumulus si no está acompañada por relámpagos, truenos o granizo (OMM, 1993).

Físicamente, estas nubes están compuestas de agua, tienen forma de motas de algodón (ver Figura 1) y eventualmente se pueden tener una extensión vertical asociada a una precipitación en forma de chaparrón. Su actividad convectiva deriva del calentamiento del aire cerca de la superficie de la tierra y su enfriamiento en su tope (por ejemplo, estas nubes se presentan más en horas de la mañana, donde el sol calienta más rápido la superficie de la tierra).



Figura 1: Nube tipo Cúmulo.
Fuente: Tomado de la Guía de identificación de Nubes (OMM- Guía de identificación de nubes)

b. Cumulonimbus: Según el atlas de nubes por su forma se definen como,

Es una nube maciza y densa, con un desarrollo vertical considerable, en forma de montaña o de enormes torres. Parte, al menos, de su cima es normalmente lisa, fibrosa o estriada, y casi siempre aplastada; esta parte se extiende a menudo en forma de un yunque o de un vasto penacho. Por debajo de la base, a menudo muy oscura, de esta nube aparecen con frecuencia nubes bajas desgarradas, unidas o no con ella. (OMM, 1993).

Como una nube cumulonimbus puede ser confundida con otra de gran extensión vertical en el cielo, tal como la nube cúmulos o torrecúmulos, puede ser fácilmente diferenciada por la precipitación y otros fenómenos como relámpagos, truenos o granizo. Físicamente se encuentra compuesta de gotitas de agua y en su parte superior de cristales de hielo (lo que se conoce como sobre enfriamiento de las gotas de agua).

El Cumulonimbus (ver Figura 2) puede ser descrito como una "fábrica de nubes". La extensión de la parte más alta a menudo conduce a la formación de yunque; si el viento se incrementa fuertemente con la altura, la cima de la nube se disemina en la dirección del viento, asumiendo la forma de un medio yunque, o en algunos casos de una vasta pluma. El Cumulonimbus es raro en regiones polares y más frecuentes en regiones templadas y tropicales.



Figura 2: Nube tipo Cumulonimbus (CB).
Fuente: Tomado de la Guía de identificación de Nubes (OMM-Guía de identificación de nubes).

Altura de las nubes: No solo la forma de la nube incide en su clasificación, ahora bien, la zona y la altura es un factor determinante al estudiar la iniciación y convección de las nubes. En meteorología aeronáutica es común referenciar las nubes dependiendo de la altura en la que se forman y en la que se desarrollan, esto debido a que cada nube tiene ciertas características de formación y no todas se desarrollan a la misma altura.

Existen varios niveles en los cuales se presentan las nubes (alto, medio y bajo), dependen de la latitud, como se observa en la Tabla 1.

Tabla1. Clasificación de nubes según su altura, adaptado del atlas de nubes

Pisos	Altitud
Alto	6-18 Km (20.000-60.000 ft)
Medio	2-8 Km (6.500-25.000 ft)
Bajo	Desde la superficie hasta 2 Km (6.500 ft)

Fuente: Tomado de la Guía de identificación de Nubes (OMM-Guía de identificación de nubes).

La Tabla 1 muestra los niveles: altos, medios y bajos y su altura correspondiente. En el caso específico de las nubes cúmulos y cumulonimbus se encuentran iniciando su crecimiento en niveles bajos, pero frecuentemente su extensión vertical puede llegar hasta niveles medios y altos, lo que las clasifica como nubes de desarrollo vertical.

III. *Dinámica de las Nubes Convectivas*

La atmósfera presenta un comportamiento dinámico, por lo que se hace necesario estudiar la conducta y la interacción de las variables que aquí se contienen; llegando a reconocer la dinámica de la formación de las nubes y los fenómenos que de ellas se desarrollan.

A. *Convección en las nubes:*

Previo a los sucesos de las precipitaciones ocasionadas por los sistemas convectivos verticales, hay ciertos términos que deben ser tenidos en cuenta para entender todo el conjunto de fenómenos dentro de una nube convectiva. Uno de estos términos es el empuje hidrostático, el cuál es la fuerza que empuja a una burbuja o bien llamada parcela de aire hacia arriba . Las corrientes de aire que actúan dentro del proceso de convección

se generar debido al calor del aire en la superficie terrestre (convección ascendente) y las corrientes de aire frío en la cima de la nube debido a que entre más altura se tenga, menor es la temperatura. En estos casos de la cima de la nube las precipitaciones y el agua generan fuerzas de convección tipo descendentes.

En Colombia y en general en las zonas del trópico, la mayor parte de la precipitación registrada y documentada se genera debido al desarrollo de nubes convectivas o que ocasiona el desarrollo de fenómenos como las tormentas eléctricas. Un ejemplo de esto se da en Bogotá, donde el 21% de los días del año se generan tormentas eléctricas que afectan las operaciones aéreas (Montoya Gaviria & Eslava Ramirez, 2000).

Colombia, al ser un territorio ampliamente biodiverso, con un sin número de ecosistemas y relieves, presenta interacciones como, por ejemplo, los vientos provenientes del pacífico, el calentamiento de la superficie terrestre y el factor orográfico anteriormente señalado, que en conjunto generan una alta inestabilidad atmosférica, lo que conlleva a un proceso de fuerte convección a lo largo de la cordillera occidental colombiana .

Como se mencionó anteriormente, en la estructura física de las nubes, los cumulonimbos presentan gotas frías en el sector medio y cristales de hielo en la parte superior. En el momento en el que se genera la interacción de fuerzas ascendente y descendentes (que en meteorología es más apropiado llamarlo corrientes o vientos cortantes), también se genera un movimiento horizontal por transporte horizontal del viento (advección) y por impulso del mismo sistema convectivo (Sierra Giraldo & Pabón Caicedo, 2018).

1) Etapas de convección: Las nubes cumulonimbus se desarrollan en diferentes etapas, en este documento se tratarán con cuatro fases o etapas, estas son el producto de la convección producida por el ascenso de aire húmedo debido a inestabilidad atmosférica.

Etapas 1: En esta etapa, el aire llega a su nivel de convección libre y posteriormente obtiene su nivel de equilibrio donde se encuentra en una temperatura similar al límite (ver Figura 3).

¹ Tomado del curso "Principios de Convección: Empuje hidrostático y CAPE, Meted, UCAR

² EMMANUEL, K.A, Atmospheric Convection. Oxford Univ. Press, New York. 580 pp citado por MONTOYA, G y ESLAVA J. (2000)

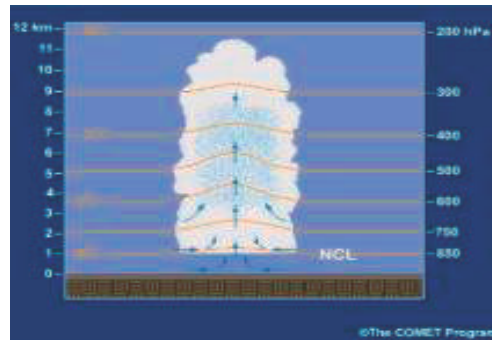


Figura 3: Nube tipo Cumulonimbus (CB) etapa I.

Fuente: (Rodríguez, 2016-2017).

Etapa II: Al alcanzar el nivel de equilibrio, la parcela de aire tiene un momento ascendente, lo cual, provoca que toda la parcela sobrepase la tropopausa. En este momento aparece un factor importante característico de las nubes convectivas, el cual es la forma de yunque en la parte superior de la nube (Ver Figura 4).

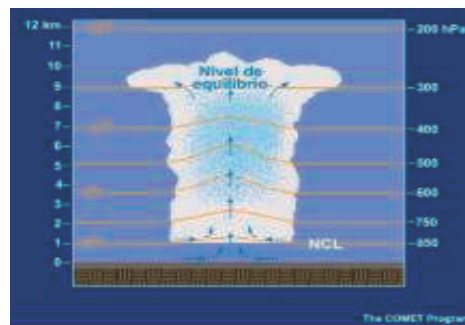


Figura 4: Nube tipo Cumulonimbus (CB) etapa II.

Fuente: (Rodríguez, 2016-2017).

Etapa III: El empuje hidrostático positivo puede verse afectado por el peso del agua condensada (o movimiento de las gotas de agua hacia abajo, "precipitación", ver Figura 5)

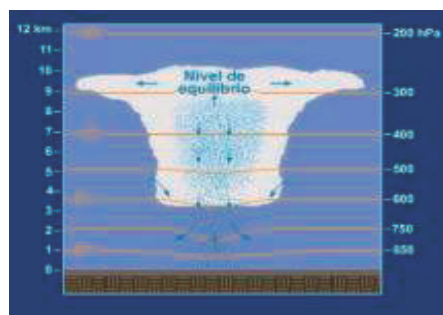


Figura 5: Nube tipo Cumulonimbus (CB) etapa III.

Fuente: (Rodríguez, 2016-2017)

Etapa IV: En el momento en que la corriente descendente alcanza la superficie, se expande y se crea una bolsa de aire frío. Esto representa la etapa final del empuje hidrostático, el cual es negativo en esta fase (Ver Figura 6).

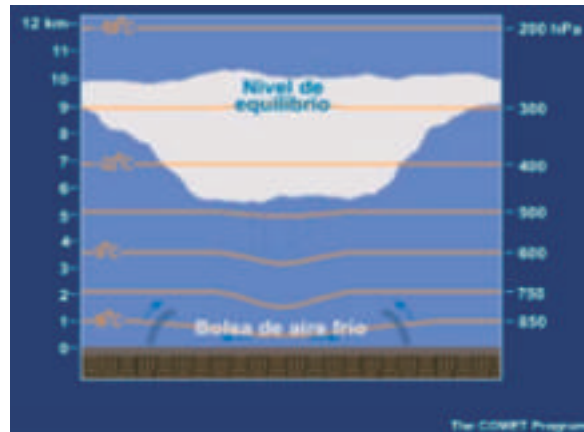


Figura 6: Nube tipo Cumulonimbus (CB) etapa IV.

Fuente: (Rodríguez, 2016-2017)

Finalmente, la tormenta eléctrica pudo tener o no asociados otros fenómenos como, precipitaciones de variada intensidad, corrientes de aire ascendentes y descendentes, cristales de hielo, granizo, engelamiento, descargas eléctricas, relámpagos, truenos, núcleos convectivos multicelulares intermitentes o continuos. Una nube de gran desarrollo vertical que puede contener todos o algunos de los fenómenos anteriores podría alcanzar en su etapa más madura una altura de 15Km en el trópico, punto situado en la base de la estratosfera dónde encuentra una capa de estabilidad, lo que lleva a formar el ya mencionado Yunque (Casas Castillo & Alarcón Jordán, 1999), es así que se le dificulta la tarea de volar en forma segura a la mayor parte de los pilotos.

IV. Las nubes convectivas en la aviación

La meteorología aeronáutica, se define como “la ciencia que estudia la atmósfera y comprende estado del tiempo y el clima. Además, se ocupa de estado físico, dinámico y químico de la atmósfera y sus interacciones entre ésta y la superficie terrestre. La meteorología aeronáutica, se encarga del estudio de fenómenos que principalmente afectan de alguna manera la aviación (Velazquez Machain, 1999)”. Para al Aerocivil y en general para la aviación, conocer los fenómenos atmosféricos es una tarea del día a día, todo en pro de garantizar la seguridad frente a las operaciones aéreas que se realizan diariamente en Colombia.

Según Sierra Giraldo y Pabón Caicedo (2018)

Uno de los factores que afectan el desarrollo de las actividades del aeropuerto y la seguridad de los vuelos, es el relacionado con los fenómenos meteorológicos adversos a la aviación. Estos fenómenos limitan las operaciones y/o pueden generar el cierre (total o parcial) del aeropuerto, puesto que se prioriza el salvaguardar las vidas humanas y también el patrimonio físico de las empresas explotadoras de servicios a la navegación aérea.

Dichos cierres, por otra parte, al alterar las operaciones conllevan a pérdidas económicas para el aeropuerto y para sus usuarios. Por ello, el Servicio Meteorológico para la navegación aérea, como uno de los actores decisivos para garantizar la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea nacional e internacional, debe disponer de información de diagnóstico y pronóstico meteorológico veraz, de tal manera que optimice la decisión sobre cierres de aeropuerto- (Sierra Giraldo & Pabón Caicedo, p.1).

Puntualmente. el caso que analizan estos dos autores esta referenciado al Aeropuerto Internacional Eldorado de la ciudad de Bogotá, al ser este uno de los más transitados a nivel suramericano tanto a nivel de pasajeros cómo de carga y de igual manera tener como visión duplicar su transporte de carga y casi triplicar el movimiento de pasajeros, se requiere el mayor número de herramientas tácticas y pre-tácticas para lograr esta visión:

Visión Aerocivil: Al 2030, movilizar 100 millones de pasajeros y duplicar el transporte de carga partiendo del 2018, en un entorno institucional claro, competitivo, conectado, seguro y sostenible, soportado en una infraestructura renovada, una industria robustecida y un talento humano de excelencia. (Tomado el 01 diciembre del 2019 de <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/mision>)

Los autores Sierra Giraldo y Pabón Caicedo (2018) se centran en el fenómeno atmosférico llamado "tormenta eléctrica", según Abbas, et al. (2012) (como se citó en (Sierra Giraldo & Pabón Caicedo, 2018)) uno de los fenómenos atmosféricos que afecta de mayor manera el sector aeronáutico, son "las tormentas eléctricas" debido a los altos costos que implican los prolongados cierres que estas generan en los aeródromos y por su impacto en las aeronaves y generación de accidentes.

A modo de ejemplo, se resume los costos por cierres del Aeropuerto Internacional O'Hare de la ciudad de Chicago en Estados Unidos, asociados a las paradas de operación a causa de la actividad de rayos (Federal Aviation Administration, 2007).

Costos operacionales por cierre de aeropuertos:

ITEM - VALOR

Costo de la pérdida de una vida humana - US\$ 3 millones

Costo promedio de los trabajos en pista - US\$ 13.03/hora

Costo horario en el retraso de vuelos - US\$ 1524/hora/avión

Tasa de retardo por avión (combustible, etc.) - US\$ 2290/hora/avión

Costo del retraso de trabajos - US\$ 814/hora

Valor del tiempo de los pasajeros - US\$ 28.60/hora (Sierra Giraldo & Pabón Caicedo, p.3).

Ellos encuentran que, durante los años 2009, 2010, 2011 y 2012 en los meses de octubre y noviembre las tormentas eléctricas que causaron cierre total o parcial a las operaciones aéreas, entre el 20% y el 67% ocurrieron en el aeródromo, y el otro porcentaje restante en el área de aproximación.

Al comparar el número de tormentas eléctricas en el área de aproximación con el número de reportes de cierre se logró identificar que este último es mayor, lo cual indica que en el período analizado se hicieron cierres que no eran directamente por tormenta eléctrica, aunque eso fue lo reportado, se pudo dar desarrollos convectivos que no llegaron a desarrollarse por completo. (Sierra Giraldo & Pabón Caicedo, p.137).

Por lo que una metodología para la identificación y parametrización, por medio del análisis de imágenes satelitales de nubes convectivas que afectan la operación aérea, resulta útil para reducir el número de cierres falsos en los aeródromos. Ahora bien, una herramienta que ha evolucionado y al día de hoy entrega información muy útil para tal fin en latitudes tropicales, es la constelación de los satélites geoestacionarios, la importancia de las imágenes satelitales frente a la detección de los objetos y fenómenos observables, cumple un papel importante que se profundiza aún más en ramas como la meteorología, esto debido a la importancia del seguimiento de fenómenos de gran escala que afectan las operaciones a nivel global. Los sistemas de monitoreo y teledetección atmosférica han tenido muy buenos avances frente a las mejoras espaciales, radiométricas y sobre todo mejoras en la resolución espectral, haciendo que los productos puedan ofre-

cer un mayor rango de posibilidades frente al análisis junto con otros productos meteorológicos, por lo que se continúa en este capítulo con el entendimiento del satélite GOES-16.

V. Información importante acerca del satélite GOES-16

La serie GOES-R. La última serie de satélites geostacionarios de la NOAA es el sistema GOES-R el cual está constituido por un programa de 4 satélites los cuales son GOES-R, GOES-S, GOES-T y GOES-U. Los proyectos satelitales se nombran con una letra antes del lanzamiento y se renombran con un número cuando el satélite alcanza su órbita geostacionaria (GOES-R, s.f.).

Los satélites de los que trata esta serie son:

- GOES-R(GOES-16): Fue lanzado el 19 de noviembre de 2016 en el Space Launch Complex 41, una estación de la FAA (Federal Aviation Administration de los Estados Unidos) en Cañaveral, estado de Florida. Reemplazó al satélite GOES-13 como el satélite GOES-East desde el 18 de diciembre de 2017.
- GOES-S(GOES-17): También fue lanzado desde la base de la FAA en Cañaveral, Florida el 1 de marzo de 2018 para reemplazar al satélite GOES-15 para ser el nuevo GOES West desde el 12 de febrero de 2019.
- GOES-T y GOES-U: Los lanzamientos están programados para el 2021 y el 2024 respectivamente. Dicha programación se puede ver en la figura 7.

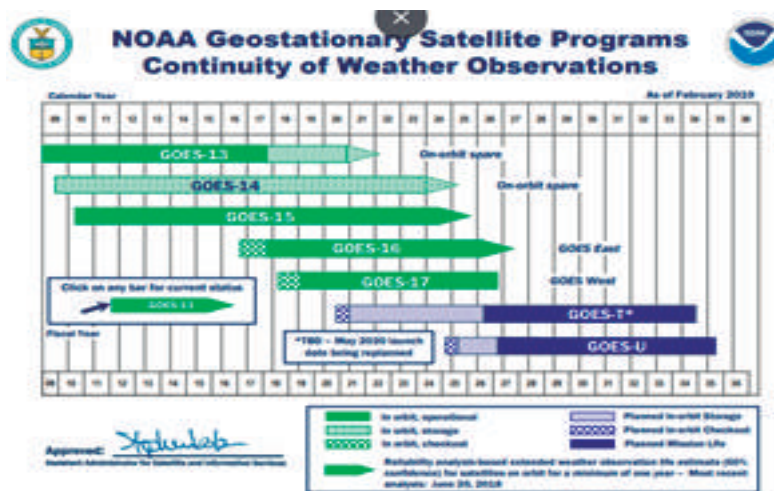


Figura 7: Lanzamientos de los satélites de la serie GOES-R

Tomado de: https://www.nesdis.noaa.gov/sites/default/files/DRAFT_GOES_Flyout_Feb_2019.pdf

La figura 7 muestra el estado de los satélites que han estado en operación, los que están en este momento en operación y los que en futuros años estarán aptos para la observación terrestre. En color verde solido esta los satélites que se encuentran en órbita y operativos, en verde con rayas los que están en órbita y operativos como almacenamiento, en verde con cuadros son los que están en órbita y en comprobación, en azul con rallas son los que están planeados para enviar como almacenamiento, en azul con cuadros son los que están planeados para enviar como comprobación y en color azul solido son los que están planeados para enviar como operativos.

- Propósito del satélite GOES-16 y aplicaciones. La serie de satélites GOES-R fue diseñada especialmente para proporcionar información atmosférica, hidrológica, oceanográfica, datos climatológicos, solares y en general el monitoreo para la conservación de la vida y la propiedad, lo que hace que éste satélite sea una valiosa fuente de información que es utilizada para mejorar operaciones, y en general ciertos procesos. Esta serie de GOES es resultado de la colaboración entre la NOAA y la NASA del gobierno de Estados Unidos.

Los principales usos del satélite son (GOES-R, s.f.):

- Pronóstico y seguimiento de fenómenos como: Tormentas, tornados y huracanes.
- Advertencias acerca de rayos.
- Detección de fuertes lluvias para prever sus posibles riesgos.
- Monitoreo de humo y polvo.
- Monitoreo de la calidad del aire.
- Detección de incendios.
- Detección de niebla.
- Ayuda a la aviación en cuanto a la mejora en la seguridad y planificación de rutas aéreas.
- Monitoreo de partículas energéticas.

- Órbita geoestacionaria y Rango de cubrimiento de la del satélite.

Una órbita geoestacionaria se define como el lugar donde los satélites orbitan la tierra a la misma velocidad ambas, por ello, son una herramienta clave para el monitoreo constante de un mismo lugar en la tierra.

(...) es una órbita en el plano ecuatorial de la Tierra a 35.796 kilómetros de altitud. Por otra parte, su excentricidad orbital es cero, lo que significa que es perfectamente circular. Este caso particular de órbita geosíncrona permite un satélite artificial de «quedarse inmóvil» a la vertical en el ecuador, en una posición fija con respecto a cualquier punto de la superficie del planeta. El satélite artificial gira en la misma dirección que la Tierra sobre su eje, es decir, del oeste al este (en relación al sistema de referencia celeste). El satélite tiene así un periodo orbital exactamente igual al periodo de rotación de la Tierra” (Astronoo, 1997-2013)

El cubrimiento del satélite está especialmente direccionado a Estados Unidos, alrededores del océano pacífico y atlántico, América del sur y América central. También cubre zonas como las islas de Hawái y el golfo de Alaska. La parte referente al pacífico igualmente es detectada dado que este sector tiene una gran influencia que afecta a Estados Unidos. Los satélites de esta constelación tienen un cubrimiento de 60°N a los 60°S, y 75°W a 135° W, la figura 8 muestra el rango de cubrimiento del satélite GOES-16. El cual va desde todo el océano pacífico, hasta todo el continente americano. La órbita a la cual se encuentra posicionado el satélite es de aproximadamente 35.786 Km por encima de la línea del Ecuador.

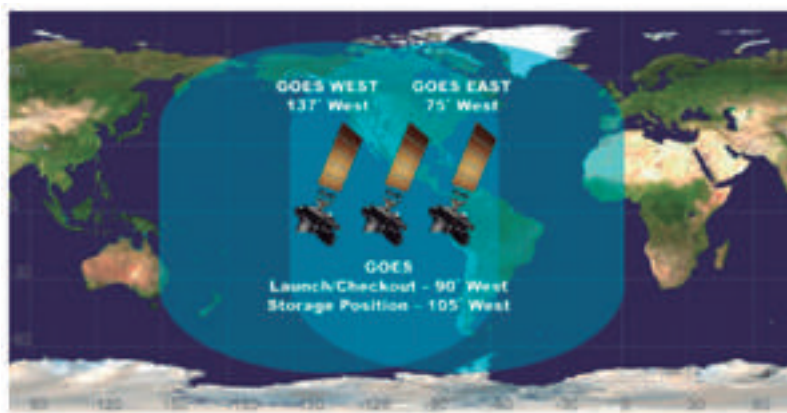


Figura 8: Cubrimiento del satélite GOES-16 (GOES East y GOES West)

Tomado de: <https://www.goes-r.gov/downloads/resources/documents/GOES-RSeriesDataBook.pdf>

Instrumentos a bordo

Cuenta con 6 principales instrumentos a bordo los cuales serán descritos a continuación (ver figura 9):

- Geostationary Lightning Mapper (GLM)
- Space Environment In-Situ Suite (SEISS)
- Magnetometer (MAG)
- Extreme Ultraviolet and X-ray Irradiance Sensors (EXIS)
- Solar Ultraviolet Imager (SUVI)
- Advanced Baseline Imager (ABI)

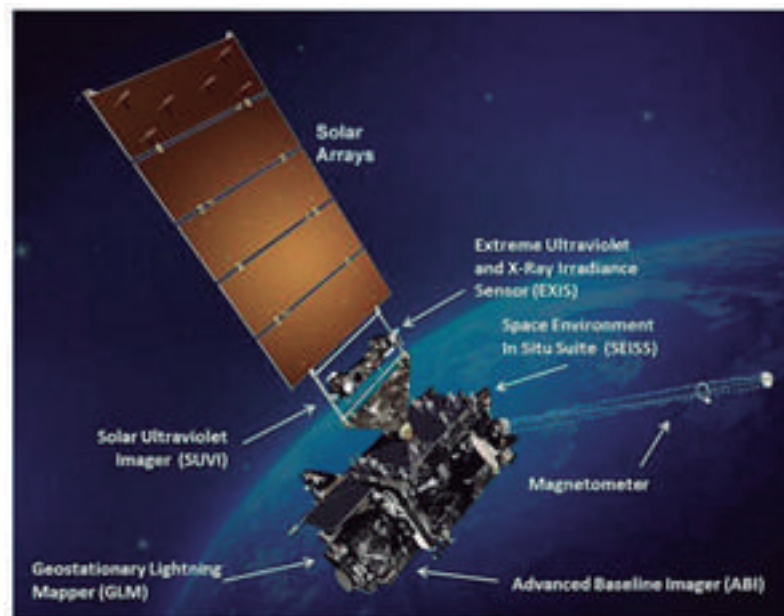


Figura 9: Instrumentos a bordo del satélite GOES-16

Tomado de: <https://www.goes-r.gov/users/docs/PUG-main-vol1.pdf>

1. Geostationary Lightning Mapper (GLM). Es el primer sensor en órbita geoestacionaria y mapeador de rayos de órbita geoestacionaria. Su principal función se basa en la detección de rayos totales que se presentan en las nubes, por lo que puede ayudar a pronosticar tormentas eléctricas. Este sensor está compuesto por un solo canal que detecta cambios a nivel óptico tanto de día y de noche con una resolución espacial desde los 8 Km a los 14 Km y recopila datos de la extensión, ubicación y brillo. La implementación de este sensor permite que junto con los datos del sensor ABI (sensor presente en el mismo satélite) se puedan ubicar de forma más precisa tormentas de gran escala y tener mayor certeza en los pronósticos.

El sensor en teoría "es una cámara de video de alta velocidad que detecta la firma óptica de las nubes que iluminan los rayos y alcanza un rango de 777.4 nm, una longitud de onda asociada con la línea neutra de emisión de oxígeno atómico del espectro del rayo" (NASA, 2019). Una característica especial es, su aplicación para monitorear condiciones

meteorológicas; esto para proveer información para el tráfico aéreo y marítimo. También ayuda para las tendencias climatológicas a largo plazo. Teniendo en cuenta que se producen aproximadamente 45 destellos por segundo en el mundo, el GLM observará 12 destellos por segundo (NASA, 2019). En la figura 10 se muestra la cobertura del sensor GLM del satélite GOES-16; es tono cian (azul claro), está la cobertura perteneciente a GOES West y en verde, GOES East, además en el continente americano se ve el promedio de rayos por kilómetro cuadrado al año.

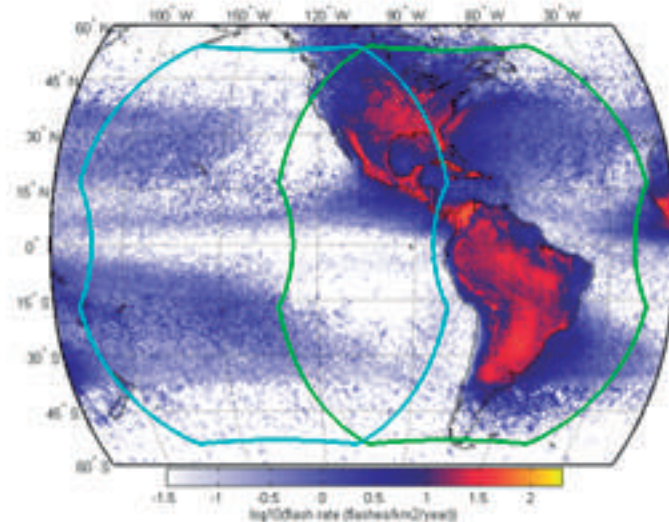


Figura 10: Cobertura del sensor GLM

Fuente: (NASA, 2019)

2. Space Environment In-Situ Suite (SEISS). La función de éste, es el de medir el entorno energético de las partículas cargadas en la órbita geoestacionaria, para proporcionar información en tiempo real al Centro de Predicción del Clima (en inglés Space Weather Prediction Center (SWPC)) el cual recopila la información para emitir informes, pronósticos y alertas para los usuarios en general (NASA, 2019).

3. Magnetometer (MAG). El magnetómetro está constituido por dos instrumentos y cada uno de ellos está formado por 3 componentes vectoriales ortogonales para poder determinar el campo magnético espacial de los diferentes puntos de la región exterior de la magnetosfera, como la detección de tormentas magnéticas súbitas.

Las principales aplicaciones de este sensor son;

- Medición y monitoreo constante de la magnetosfera.
- Medir la magnitud y dirección del campo magnético de la tierra.

- Determinación de la actividad geomagnética.

Como se mencionó anteriormente, el magnetómetro mide el campo magnético espacial, lo cual permite tener datos para prever las partículas que pueden ser peligrosas para las naves espaciales, satélites y demás.

4. Advanced Baseline Imager (ABI) Este es uno de los 6 sensores a bordo de GOES-16 para la observación terrestre. Cuenta con 16 bandas espectrales (2 canales del visible, 4 del infrarrojo cercano y 10 pertenecientes al infrarrojo lejano) que van en el espectro electromagnético desde 0.47 μm hasta 13.3 μm .

El instrumento a bordo de interés, es ABI (Advanced Baseline Imager) mide la radiación solar reflejada (radiancia) en longitudes de onda visibles e infrarrojas cercanas, y las bandas 7-16 miden la emitancia en las longitudes del infrarrojo. Este sensor también tiene tres modos de barrido o escaneo: Full disk, Continental, United States (CONUS) y Mesoescala. ABI cuenta con un nivel de procesamiento 1b el cual contiene la radiancia en todos los 16 canales, y un nivel de procesamiento L2b el cual va encaminado a una serie de productos derivados, cada uno con procesamientos únicos para un fin en específico, el cual puede ser tope de nube, fases, temperatura de superficie etc.

La Tabla 2 contiene la información de cada una de las 16 bandas de ABI, información que va desde el nombre, la longitud de onda central de cada banda, la resolución espacial y la resolución espectral de cada una. Como podemos observar, el canal rojo presenta una resolución espacial mejorada con respecto a las demás bandas. La resolución radiométrica de 12 Bits está relacionada con "el número de niveles digitales utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor. En general, cuando mayor es el número de niveles mayor es el detalle con que se podrá expresar dicha información" (TELEDET, s.f.) así, con una resolución radiométrica de 12 bits, se tienen 4096 niveles de gris en una imagen.

A. Modos de escena

Es pertinente aclarar lo modos de escaneo son 3:

- Full disk: Consiste en 22 bandas de escaneo de este a oeste y se utilizan los modos de escaneo 3, 4 y 6, las franjas se extienden también fuera de la tierra con el fin de tener la extensión completa del hemisferio.

- Conus: Este modo de escaneo está especialmente diseñado para observar toda la superficie perteneciente a Estados Unidos. Es un triángulo que abarca aproximadamente 3000 Km de Norte a Sur y 5000 Km de este a oeste con un cubrimiento de 6 franjas horizontales, los modos de escaneo para esta escena son el 3 y el modo 6.
- Mesoescale: tiene una extensión aproximadamente de 1000 Km por 1000 Km y está conformada por 2 franjas. Es ideal para el monitoreo y el seguimiento de fenómenos de gran escala como tormentas y huracanes.

La figura 11 muestra la extensión de cada una de las escenas que ofrece el satélite GOES-16, (anteriormente nombradas).

Tabla 2. bandas espectrales del sensor ABI

Banda	Onda central	Tipo	Nombre	Resolución espacial	Resolución radiométrica (bits)
1	0.47	Visible	Azul	1	12
2	0.64	Visible	Rojo	0.5	12
3	0.86	Infrarrojo cercano	Vegetación	1	12
4	1.37	Infrarrojo cercano	Cirrus	2	12
5	1.6	Infrarrojo cercano	Nieve-hielo	1	12
6	2.2	Infrarrojo cercano	Tamaño de partícula de nube	2	12
7	3.9	Infrarrojo	Ventana de onda corta	2	14
8	6.2	Infrarrojo	Nivel superior de vapor de agua	2	12
9	6.9	Infrarrojo	Vapor de agua de nivel medio	2	12
10	7.3	Infrarrojo	Vapor de agua de nivel inferior	2	12
11	8.4	Infrarrojo	Fase superior de la nube	2	12
12	9.6	Infrarrojo	Ozono	2	12
13	10.3	Infrarrojo	Ventana de onda larga-limpia	2	12
14	11.2	Infrarrojo	Ventana de onda larga	2	12
15	12.3	Infrarrojo	Ventana de onda larga-sucia	2	12
16	13.3	Infrarrojo	Dióxido de carbono	2	12

Fuente: (NASA, 2019)

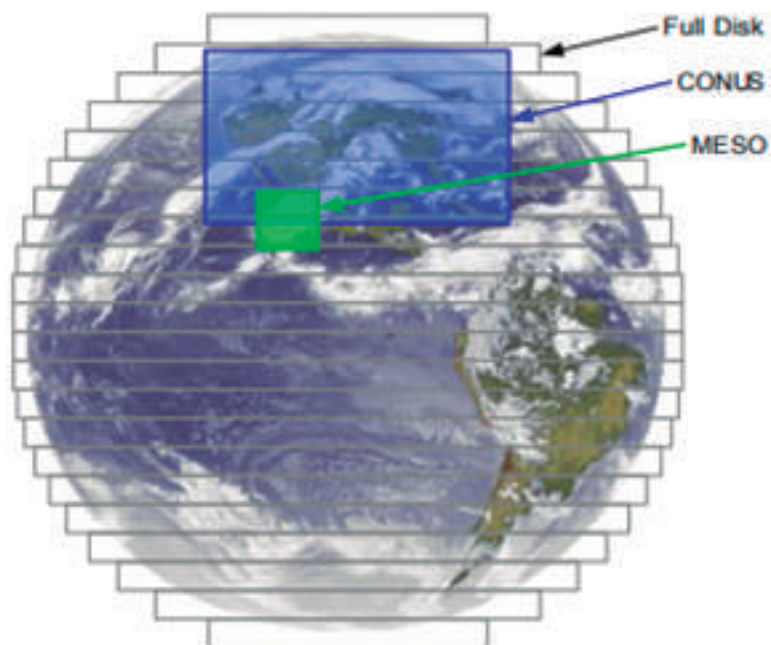


Figura 11: Escenas del sensor ABI

Fuente: (NASA, 2019)

B. Modos de escaneo

Posee tres modos de escaneo los cuales son (NASA, 2019):

- Modo 3: Es un modo que escanea en un tiempo de 15 minutos en el cual obtiene una imagen Full disk, 3 escenas de Conus (cada 5 minutos) y 30 escenas mesoescala (1 cada 30 segundos o 2 en un minuto, intervalos de uno).
- Modo 4: Tiene un rango de escaneo de 5 minutos, lo que proporciona una imagen full disk y escenas necesarias para calibración de imágenes de infrarrojo y demás.
- Modo 6: Escanea en un tiempo de 10 minutos en los que proporciona 1 imagen Full disk (cada 10 minutos), CONUS cada 5 minutos y una escena de Meso cada 30 segundos (o dos escenas en 1 minuto).

C. Bandas espectrales

1. Banda 1, (Azul, 0,47 μm): Es una de las dos bandas en el espectro visible. Dentro de sus aplicaciones más notorias se destacan el de la detección de aerosoles y humo. La desventaja que presenta esta banda en su aplicación radica principalmente en que las obser-

vaciones se hacen solamente de día. Esta banda en el espectro visible representa la cantidad de radiación solar reflejada por los objetos en la superficie terrestre. Usualmente también es usada para la identificación de tipo de nube, pero para ello lo mejor siempre será hacer loops, y así tener una diferenciación más precisa. Adicionalmente, esta banda se utiliza para generar el color real junto con la banda rojo y verde del mismo satélite.

2. Banda 2, (Rojo 0.64 μm): Es la segunda banda perteneciente al espectro visible, ya que se encuentra aproximadamente en los 0.64 μm y también representa la radiación solar reflejada. Esta banda es la que mejor se acopla para ver más claramente la textura de las nubes, esto añadiendo el hecho de que esta banda tiene una resolución espacial de 0.5 Km.

3. Banda 3, (Vegetación 0.86 μm): Esta banda está en la región del espectro del infrarrojo cercano y sus aplicaciones van directamente relacionadas con la detección de nubes, humo y aerosoles. También es usado para el cálculo del índice normalizado de vegetación (NDVI). Las superficies de la tierra se ven generalmente más brillantes en comparación con las demás bandas en el visible. También esta banda es importante ya que simula la banda verde y junto con la banda azul y rojo, producen la simulación del color verdadero RGB.

Estas firmas espectrales son mostradas en la figura 6, en las que se detalla la reflectancia de diferentes cuerpos en el espectro visible e infrarrojo cercano en el generador avanzado de imágenes de base, ya mencionado como ABI.

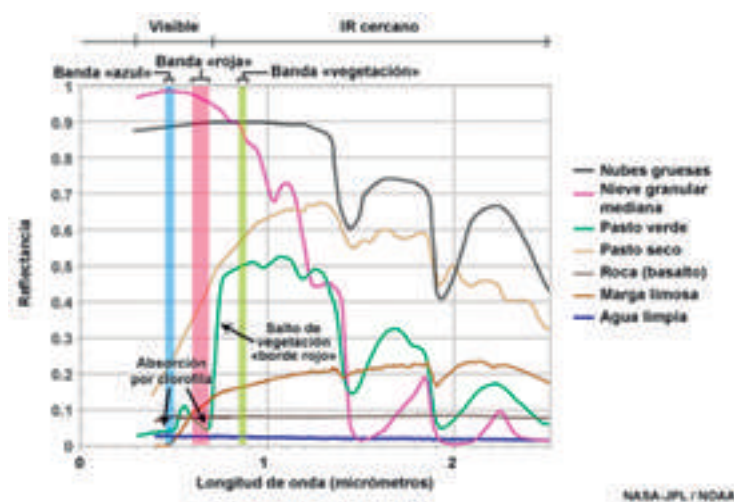


Figura 12: Reflectancia de diferentes cuerpos en el espectro visible e infrarrojo cercano en ABI.

Fuente: (University for Atmospheric Research , s.f.)

La figura 12 muestra las firmas espectrales de diferentes coberturas en las diferentes longitudes de onda. Se puede observar efectivamente que la vegetación es muy reflectante en la banda del verde en comparación con superficies como el agua y la roca. Para detectar nubosidad, de éstas tres bandas la banda del rojo es la más pertinente a la hora de observar las nubes, teniendo en cuenta que éstas tienen una mayor reflectancia que la vegetación y el suelo, por ello su diferenciación es mejor y también presentan una mejor definición debido a su resolución espacial mejorada de 0,5 Km. La banda del azul muestra un grado menos de contraste entre otras cosas por la dispersión por parte de partículas suspendidas como aerosoles, polvo, cenizas y la bruma que se hacen más pronunciados en longitudes de onda corta y ocultan en parte las características de la superficie (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR, 2016-2017).

4. Banda 4, Cirrus (1.37 μm): En esta banda es característico detectar la superficie, el suelo, los océanos y las nubes de capas bajas con un aspecto oscuro; se explica debido a la fuerte absorción de la energía solar por el vapor de agua atmosférico, en general las superficies con contenidos de agua (pastos verdes, el agua, la nieve, etc.) tienden a ir siendo menos reflectantes a longitudes de ondas largas (University Corporation for Atmospheric Research, 2016-2017). Lo anterior se utiliza para la determinación de nubes en capas altas como las nubes tipo cirro.

5. Banda 5, Nieve – Hielo (1.6 μm): Esta banda ayuda a precisar un poco más el contenido de las nubes, ya que se genera un marcado oscurecimiento en la medida que en los toques de nubes presentan partículas de hielo y las nubes con agua se mantienen brillantes. Esta característica ayuda a definir la microfísica de las nubes para su posterior descripción y clasificación. También ayuda a inferir acerca de la madurez y la intensidad de convección asociada a nubes de desarrollo vertical (University Corporation for Atmospheric Research, 2016-2017).

Entonces, en los procesos de glaciación en las nubes, estas se tornarán de gris más oscuro a medida que el tope de nube cambie de estado líquido a sólido y posteriormente cambiarán a tonos más claros cuando el estado del agua sea líquido.

6 Banda 6, Partícula de nube (2.2 μm): Sus propiedades son muy similares con la banda 5 debido a que junto a esta no se limitan solo a distinguir la fase de agua presente en una nube, sino que también permiten detectar el "cambio en las variaciones en la energía solar reflejada producidas por cambios en el tamaño de las partículas cerca del tope de las nubes" (University Corporation for Atmospheric Research, 2016-2017). Esta banda también

es frecuentemente utilizada para la detección de puntos calientes o incendios.

Algunas de las recomendaciones y observaciones que destacan las organizaciones en la página Meted UCAR (University Corporation for Atmospheric Research, 2016-2017) son:

- las nubes de agua son más reflectantes que las de hielo;
- cuanto más espesa sea la nube de hielo y agua, tanto más reflectante será;
- la reflectancia de las nubes aumenta conforme el tamaño de las partículas de las nubes disminuye (tanto para las nubes de hielo como para las de agua).

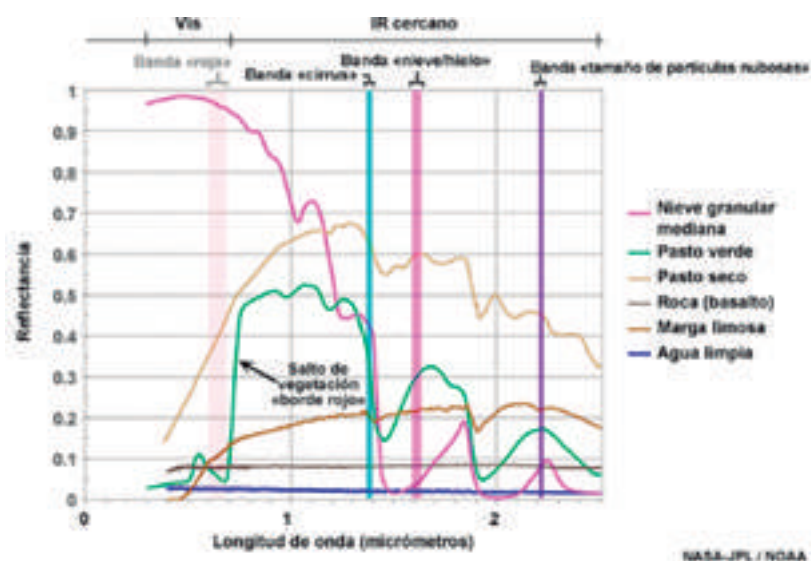


Figura 13: Reflectancia de diferentes cuerpos en el espectro visible e infrarrojo cercano en ABI.

Fuente: (University for Atmospheric Research , s.f.)

7. Banda 7, Ventana IR de onda corta (3.9 μm): Para seguir hablando del espectro en el infrarrojo, cabe resaltar que la tierra y en general la superficie terrestre emiten energía principalmente en esta región y en ondas mayores a 3 μm hasta los 10 μm aproximadamente

Las utilidades de esta banda son:

- mejorar la capacidad de identificar y observar la evolución de nieblas y estratos bajos;
- determinar la fase del agua en las nubes;
- demarcar las nubes de agua sobreenfriada y de hielo;

- mejorar la identificación de nubes de agua sobre fondos con cobertura de nieve durante el día;
- detectar puntos calientes, como incendios y erupciones de volcanes;
- observar aerosoles atmosféricos y cenizas volcánicas durante el día;
- medir la temperatura de la superficie del mar por la noche; y
- estimar los vientos en niveles bajos a partir del movimiento de las nubes (University Corporation for Atmospheric Research , 2016-2017).

8. Banda 8, Nivel superior de vapor de agua (6.2 μm): La mayor parte de la radiación proviene de la troposfera debido al alto contenido de agua. Los tonos oscuros muestran espacios secos y bajos, los claros, lugares fríos y húmedos en ventanas más altas o en las cimas de las nubes. En general en esta capa el vapor de agua bloquea en gran medida la radiación de la atmósfera, en este sentido no será posible ver estratocúmulos debajo de una capa delgada de cirros.

9. Banda 9, Nivel medio de vapor de agua (6.9 μm): Hace parte de una de las 3 bandas del vapor de agua del sensor ABI. Su principal aplicación es el del seguimiento de la intensidad de los vientos en la baja troposfera o lo que comúnmente se describen como: corrientes en chorro, término usado popularmente. Estas aplicaciones ayudan en parte a pronosticar eventos tales como tormentas, huracanes, el monitoreo en general del clima severo y la identificación de zonas donde se presenten fuertes turbulencias. La importancia de esta banda también va ligada a la generación de productos de humedad e índices de estabilidad atmosférica (NOAA-NASA).

10. Banda 10, Nivel bajo de vapor de agua (7.3 μm): Es la última de las capas de vapor de agua del satélite. Dentro de sus aplicaciones se encuentra la detección y seguimiento de los vientos de baja temperatura, y vientos en chorro en unos 500hPa a 700 hPa.

11. Banda 11, Tope de nube (8.4 μm): Se considera una banda sucia debido a la fuerte absorción del vapor de agua en comparación con otras bandas en el infrarrojo de onda larga. En esta banda también se puede inferir sobre la temperatura de la superficie terrestre, el cual, presenta brillos de temperatura frías en la medida en que se encuentra mucha humedad en los niveles bajos de la atmósfera.

También en escenas desérticas es común que la temperatura de brillo de la banda de 8.4 micrómetros sea más fría en comparación con las bandas de

10.3 micrómetros y 11.2 micrómetros, pese a que en estos entornos la atmósfera inferior suele ser seca. Esto se debe a que la emisividad (o eficiencia de emisión) de una superficie desértica suele aproximarse al 90 %, a diferencia de las zonas con suelos oscuros o cubiertas de vegetación, cuya emisividad se acerca al 100 %" (University Corporation for Atmospheric Research, 2016-2017).

Junto con la combinación de la banda 11.2 μm se hacen productos relacionados a nubes de agua y de hielo. Esta banda también presenta un sobre-enfriamiento de los toques de nubes, que se puede ver afectado por la humedad relativamente alta en la alta atmósfera.

12. Banda 12, Ozono (9.6 μm): La radiación detectada en esta banda se encuentra generalmente en niveles muy cercanos a la tropopausa. Esta banda también presenta un sobre enfriamiento debido a la combinación tanto de vapor de agua como de ozono, es por ellos que los toques de nubes pueden parecer más cálidos de lo que realmente son.

13. Banda 13, infrarrojo limpio (10.3 μm): Es una de las bandas más usadas en meteorología aeronáutica, debido a que se encuentra en una parte del espectro electromagnético que no es tan sensible al vapor de agua en comparación con las otras bandas en el infrarrojo (8.4 11.2 y 12.3).

En la longitud de onda de 10.3 micrómetros, la emisividad de la mayoría de las superficies y tipos de nubes se acerca a 1 (lo cual implica una eficiencia del 100 %), siendo los cirros delgados una excepción notable. Por lo tanto, la temperatura de brillo que percibe el satélite está cerca de la temperatura real de la capa superficial del suelo o de los toques de las nubes, excepto donde la escena contiene cirros delgados. En realidad, los cirros delgados dejan pasar una mayor cantidad de energía que en las demás bandas de ventana IR, de modo que tienen un aspecto más cálido en la banda de 10.3 micrómetros" (University Corporation for Atmospheric Research, 2016-2017).

14. Banda 14, infrarrojo de onda larga: (11.2 μm): La propiedad de dispersión de las partículas de hielo hace que sea un espectro óptimo para la distinción de la composición del tipo de nube. La emisividad en estos canales (10.5 μm -12.5 μm) de la superficie y las nubes se acerca a uno, con excepción de las nubes como cirros delgados.

Los cirros gruesos que generalmente se ven en el centro de una celda convectiva son opacos a la radiación infrarroja emitida por la tierra y así el satélite solo detecta lo referente a las nubes.

15. Banda 15, infrarrojo sucio (12.3 μm): En la banda de ozono, la mayoría de las estructuras tienen un aspecto más frío como resultado de la absorción del ozono en la estratosfera inferior, donde reinan temperaturas más bajas que en la troposfera. Solo los toques de las nubes convectivas más altas parecen más calientes en las imágenes de la banda de ozono; esto se debe a que su temperatura real es levemente inferior a la de la capa de ozono, ubicada a la altura de los toques de las nubes o un poco más arriba.

16. Banda 16, infrarrojo onda larga CO₂, (13.3 μm): La radiancia saliente corresponde a temperaturas muy bajas, lo cual indica que se trata de energía emitida desde un nivel más alto de la troposfera. Los canales espectrales de la banda de absorción de CO₂ se utilizan mucho para medir los cambios en la temperatura de la atmósfera con la altitud y para estimar la altura de los toques nubosos.

D. Productos ofrecidos por el satélite GOES-R

Al ofrecer nuevas características esta serie de satélites meteorológicos son mejor los productos generados, específicamente por el sensor ABI vienen descritos mediante Algoritmos teóricos (por sus siglas en inglés ATBD: Algorithm Theoretical Basis Document) que describen los principios básicos para la detección determinada según las características espectrales de cada objeto detectado. A continuación, se hará una muy breve descripción de los Algoritmos que generan los productos del sensor ABI.

1. ABI Aerosol detection Product. Este producto es de gran ayuda para pronosticadores dado que permite identificar la calidad del aire en cuanto a la detección de partículas de humo y polvo. Se fundamenta en la separación de píxeles nublados y claros de aquellos con humo o polvo lo cual es posible por las distintas respuestas espectrales de cada litometeorológico añadido el hecho que las respuestas espectrales en los aerosoles varían en parte por sus propiedades de dispersión y absorción debido al tamaño de las partículas suspendidas.

2. Aerosol Optical Depth and Aerosol Size Parameter. Está principalmente diseñado para identificar la profundidad óptica del aerosol la materia suspendida y el tamaño del

aerosol. El producto final tiene una resolución de 2 Kilómetros cada 5 a 15 minutos durante el día.

3. Productos derivados: estos productos están relacionados a continuación (ver tabla 3):

Tabla 3: Productos derivados del sensor ABI

Detección de aerosoles (incluidos humo y polvo)
Profundidad óptica de aerosol (AOD)
Tamaño de partícula de aerosol
Máscaras de cielo despejado
Nube de capas / alturas
Imágenes de nubes y humedad
Profundidad óptica de la nube
Distribución del tamaño de partícula en la nube
Altura superior de la nube
Fase superior de la nube
Presión superior de la nube
Temperatura superior de la nube
Vientos de movimiento derivados
Índices de estabilidad derivados
Radiación de onda corta descendente: superficie
Caracterización de fuego / punto caliente
Estimación de intensidad de huracanes
Temperatura de la superficie terrestre (piel)
Perfil de humedad vertical heredado
Perfil de temperatura vertical heredado
Nubes bajas y niebla
Radiaciones
Tasa de lluvia / QPE
Radiación de onda corta reflejada: TOA
Mar y hielo del lago: edad
Hielo marino y lacustre: concentración
Mar y lago de hielo: movimiento
Temperatura superficial del mar (piel)
La capa de nieve
Agua precipitable total
Ceniza volcánica: detección y altura.

Fuente: (NOAA-NASA, s.f.)

VI. Metodologías para la detección de actividad convectiva por medio de imágenes de satélites meteorológicos.

Existen algunas metodologías aplicables a las imágenes satelitales referentes a detección de sistemas convectivos. En Colombia éstos procesos y en general a la teledetección de nubes convectivas no es un tema lejano; es así como trabajos como el de “De-

tección de nubes convectivas mediante fusión de datos meteorológicos para soporte de seguridad de la aviación” realizado por Zuluaga J.A.F., Bonilla J.F.V., aquí se emplean la automatización de datos para georreferenciar un sistema convectivo, con la ayuda de herramientas como la inteligencia artificial y con insumos como las imágenes del satélite GOES e imágenes de radares meteorológicos.

En general, muchas de estas técnicas abarcan procesos complejos como las máquinas de soporte vectorial, los árboles de decisiones y la inteligencia artificial. La mejor forma de analizar los sistemas convectivos se fundamenta por obvias razones en la observación del tope de nube Over shooting convective cloud Tops (OTs) que son un fenómeno común que se produce en fuertes tormentas de convección en regiones de tierras tropicales y océanos. Los OTs, también llamados cúpulas de yunque o penetrantes y para ello es común la utilización de técnicas como la diferencia de brillo de temperatura (Brightness Temperature Difference (BTD)) en bandas especialmente del infrarrojo y con pruebas en métodos de inteligencia artificial.

La mayoría de las metodologías consultadas, utilizan procesos de inteligencia artificial donde se emplean máquinas de aprendizaje y árboles de decisiones, con el empleo de herramientas y lenguajes de programación más robustos que lo que común se utilizan como lo son Python y Java en software como MATLAB y R.

Dentro de las técnicas más frecuentes se puede resaltar el uso de la diferencia de temperatura entre bandas; esta técnica se aplica para la determinación de las fases presentes en un evento determinado y principalmente en canales como el infrarrojo.

Trabajos como el de Zuluaga J.A.F., Bonilla J.F.V que consiste en...

“el desarrollo de una metodología que permita la automatización integración de datos meteorológicos heterogéneos y asincrónicos para determinar la localización y las características de los fenómenos meteorológicos y analizar su comportamiento a fin de detectar estas formaciones atmosféricas que pueden colocar en riesgo las operaciones aéreas” (Florez Zuluaga & Vargas Bonilla , 2017),

Son trabajos que complementan muy bien el saber hacer de la meteorología aplicada al sector aéreo. El trabajo utiliza técnicas de inteligencia artificial para extraer información de varias fuentes como imágenes satelitales (IR, VIS y WV), modelos de formación de

hielo y datos meteorológicos de todos los aeródromos de Colombia. La información es relevante para ver la formación, y organización en un mapa con una matriz de interferencia de geolocalización de las nubes y sus perfiles verticales para poder dar una ayuda a la navegación. El lugar de estudio es el territorio colombiano el cual, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), presenta diversos climas, lo cual hace que las condiciones meteorológicas varíen constantemente. Para el sector aéreo, el estudio de dichos fenómenos son los principales temas de interés ya que en Colombia no hay un sistema automatizado para los reportes y se hace análisis de datos manualmente mediante la observación de bandas, graficas, estadísticas y demás.

El problema planteado en este documento se centra en entender principalmente que, para las observaciones meteorológicas, los grupos de expertos meteorológicos miran los patrones de observación de las nubes verificando con reportes METAR, imágenes satelitales y demás fuentes y posteriormente el meteorólogo hace una correlación de los factores del riesgo y evolución de los datos durante el periodo necesario de las operaciones. Aunque la experticia de los profesionales en el campo es asertiva, se hace necesario complementar la información por medio de procesos automatizados que soporte el proceso de decisión en las operaciones aéreas.

La metodología aplicada interrelacionó diversas fuentes: reportes METAR, TAF, SPECI e imágenes satelitales. Los principales canales para las observaciones con imágenes satelitales fueron:

- IR (10.2 a 11.2): Óptimo para observar la temperatura de las partículas en la atmósfera. Es común para ver el seguimiento de la iniciación de convectividad en capas altas.
- WV (5.8 a 7.3): Información de densidad de partículas de agua en la atmósfera en alturas medias y altas.
- VIS (0.52 a 0.71): Proporciona información a acerca de la reflectividad.

La figura 13, muestra un esquema del flujo de trabajo en cuanto a la metodología de fusión de datos para los fines de su trabajo. Para las imágenes satelitales, fue clave el procesamiento de las diferentes bandas y teniendo en cuenta los histogramas que se presentan a la hora de detectar sistemas convectivos, esto contrastado con los reportes METAR de los aeródromos.

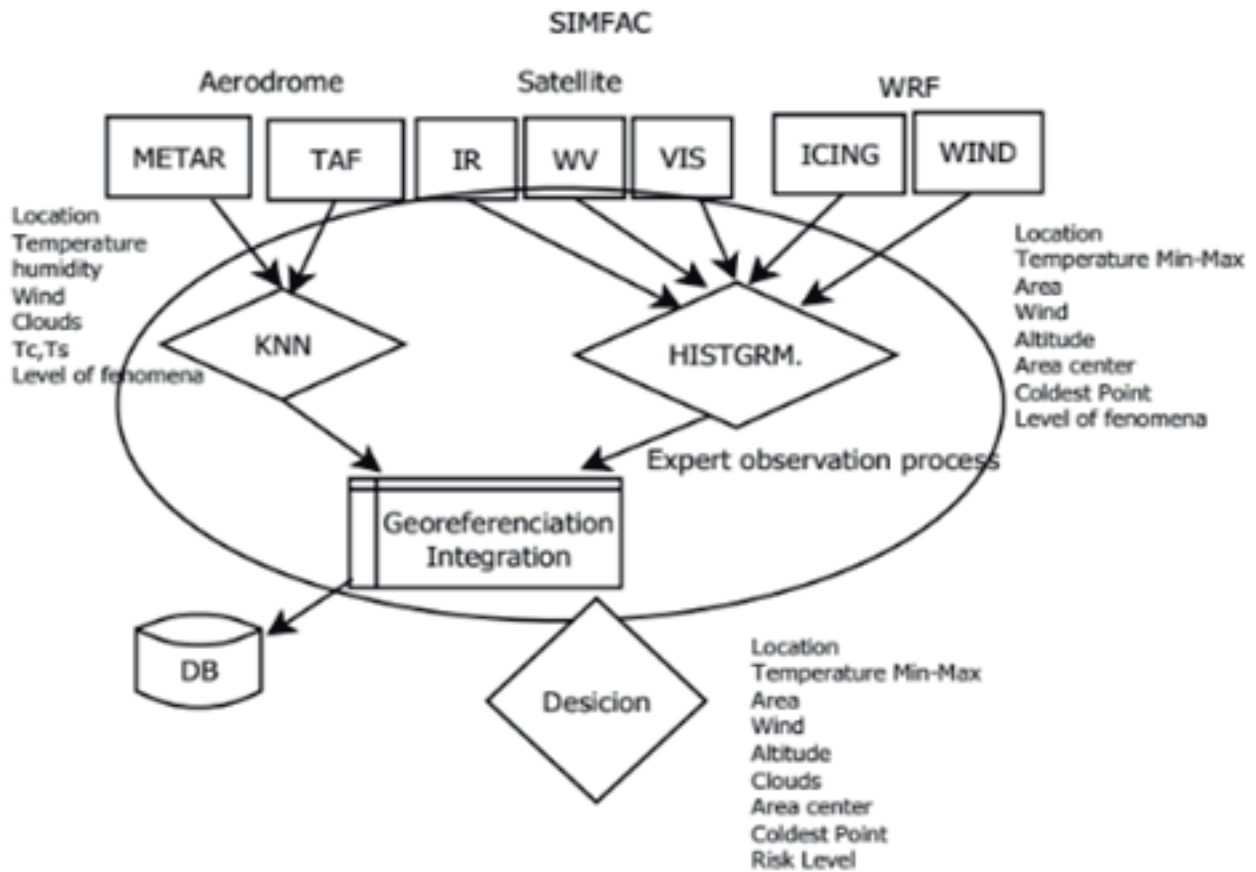


Figura 13: Metodología de fusión de los autores Zuluaga y Bonilla

Fuente: (Florez Zuluaga & Vargas Bonilla , 2017)

Toda la información independientemente de las fuentes después fue interpretada, georreferenciada y organizada en un matriz multidimensional organizada por latitud y longitud en datum WGS84. El resultado de los análisis de cada fuente es almacenado y relacionado con una de las dimensiones de la matriz y en este caso será posible correlacionar la información entre ellos y su posición geográfica. Con esta matriz; con un sistema de decisión estadística se podrá determinar la existencia de convectividad. Si existe, el sistema etiqueta automáticamente como sistema convectivo y podrá extraer, basado en análisis previos de las características y se podrá ver en una interfaz amigable.

Otros métodos encontrados para la teledetección de sistemas convectivos hacen referencia a la detección de fenómenos denominados "Over shooting convective cloud Tops (OTs)"o también llamadas cúpulas de yunque o yunques penetrantes que son un fenómeno común que se produce en fuertes tormentas de convección en regiones de

tierras tropicales y océanos. Trabajos como el realizado por los investigadores Miae Kim, Jungho Im, Haemi Park,

Seonyoung Park, Myong-In Lee and Myoung-Hwan Ahn (Kim, y otros, 2017) señalan que los OTs, son nubes en forma de cúpula que se forman sobre una nube tipo cumulonimbus o una tropopausa penetrante. Se forman cuando una parcela de aire ascendente en una nube convectiva profunda penetra a través del nivel de equilibrio (o nivel de flotación neutra) debido al impulso de la parcela ascendente debido a fuertes corrientes ascendentes flotantes dentro de una tormenta. Las nubes cumulonimbus con OT pueden causar con frecuencia condiciones climáticas severas, como rayos de nubes a tierra, granizo grande, vientos fuertes y fuertes lluvias. Las nubes convectivas profundas que superan las regiones tropicales penetran en la capa de la tropopausa tropical e incluso directamente en la estratosfera inferior, afectando el presupuesto de calor y constituyentes. Como los efectos de los OT en el calor y la humedad de la troposfera superior y la estratosfera inferior aún no están totalmente identificados, la detección precisa de OT y su distribución son cruciales para comprender mejor estos efectos.

Existen dos métodos para estos topes que han sido ampliamente estudiado tales como:

- Diferencia de enfoque entre dos bandas, diferencia de temperatura de brillo (brightness temperatura difference (BTD)), pero puede presentar problemas frente a falsas alarmas, aunque depende de los umbrales, las resoluciones espaciales y espectrales y demás características del satélite.
- Textura de la ventana del infrarrojo: se utilizan umbrales dependiendo del tamaño y TB.

El propósito del trabajo se enfocó en la utilización de herramientas como Machine learning con enfoques binarios para detección de OT en ocurrencia como no concurrencia, para encontrar patrones utilizando datos como:

- Imágenes del sensor Advanced Himawari Imager (AHI) con 16 bandas espectrales: **Banda 3** (VIS 0.64 μm) de resolución espacial de 500 m para construir conjuntos de datos de referencia OT y NOOT, **banda 11** (WV 8.6 μm), **banda 13** (IR 10.4 μm), **banda 14** (IR 11.2 μm) banda 15 (IR 12.4 μm) de datos de resolución espacial de 2 km se emplearon para calcular las diferencias de ventana dividida que fueron utilizadas

- como variables de entrada.
- Imágenes del espectro visible de MODIS.
- Tropopause Temperature from the Numerical Weather Prediction Model:
Los datos de temperatura de la tropopausa del Sistema de Pronóstico Global (GFS), producidos por los Centros nacionales para la predicción ambiental (NCEP) se compararon con el TB del OT y la no OT. Se utilizaron los datos de temperatura de la tropopausa de 3 horas por hora GFS correspondientes a las imágenes Himawari-8. (Kim, y otros, 2017).

La metodología de investigación implementada en el trabajo de éstos investigadores parte de la plena identificación de los OT y no OT, por medio de expertos a través de análisis visual; como las firmas de OT son evidentes en las imágenes VIS debido a sus características, como las sombras proyectadas en el lado de las nubes de OT en forma de cúpula, superficies rugosas, los OT son identificados por la interpretación visual humana esto complementado por hechos como el planteado...

Estudios previos reportaron que en tierra las nubes convectivas son más fuertes que las que se producen en el océano. Los estudios sugieren que el perfil vertical de la energía potencial convectiva disponible (CAPE) puede afectar la fuerza de convección. La convección sobre la tierra tiene una forma CAPE más ancha (más gruesa) que sobre el océano. La convección en una forma más amplia acelera los paquetes de aire con mayor eficacia. Otra explicación es que la convección puede fortalecerse aún más generando calor latente mediante la congelación de las gotas de nubes y las gotas de lluvia hacia los niveles superiores.” (Kim, y otros, 2017)

Para la identificación de estos toques, fueron utilizados aproximadamente 15 variables para el entrenamiento. Como las nubes de yunque se identifican como regiones donde se enmascaran los píxeles de nube con un TB de más de 230 K, los valores disponibles en tamaños de ventana, excepto los píxeles de cielo despejado se utilizaron para el cálculo de las variables de entrada. Las diferencias de la ventana dividida se aplicaron por primera vez para la detección de OT, incluidas 6.2–11.2 μm , 8.6–11.2 μm , 12.4–10.4 μm y 12.4–11.2 μm a partir de los datos de Himawari-8. A medida que una nube alcanza su nivel de equilibrio local o la altura de la tropopausa, todas las diferencias de canales serán casi nulas y, finalmente, se volverán positivas cuando se produzca una Superación. La diferencia de 6,2 a 11,2 μm se usa para determinar la humedad estratosférica inferior. Es positivo cuando el vapor de agua está presente sobre las cimas de las nubes (es decir, OT).

El hecho de poder demostrar cuantitativamente la superación de la tropopausa permite tener un acercamiento y un mayor grado de confiabilidad a la hora de monitorear convección profunda.

Éste no es el único trabajo utilizando herramientas de aprendizaje. Otros investigadores como Tebbi y Haddad encaminaron su investigación para diferenciar entre la precipitación estratiforme y la precipitación convectiva y para ello utilizaron Machine learning e inteligencia artificial y Máquinas de soporte vectorial; redes neuronales. El trabajo consistió en el “desarrollo de un nuevo método para la delineación de lluvia y clasificación de nubes basado en máquinas de soportes vectorial y parámetros multiespectrales de nubes en Algeria” (Tebbi & Haddad, 2016).

Los datos que utilizaron fueron las bandas VIS-0.6 μm , VIS-0.8 μm , IR-3.9 μm , WV-6.2 μm , WV-7.3 μm , IR-8.7 μm , IR-9.7 μm , IR-10.8 μm , IR-12.0 μm , y IR-13.4 μm . La metodología inició con:

- El cálculo de TB y de la reflectancia posterior a una georreferenciación.
- Datos de reflectividad con radares meteorológicos (estratiformes con 18-38dBZ y células convectivas mayores de 42 dBZ).
- Diferenciación las células convectivas, esto teniendo en cuenta que una nube es capaz de producir precipitación si está lo suficientemente alta y si en la parte superior existen partículas de hielo.
- CWP: Cloud Water Path: Esto para ayudar a definir la probabilidad de saber si una nube precipitó y que combina el radio de gota efectivo y el espesor óptico de la nube, tiene una relación directa con la probabilidad de que la nube tenga precipitación. Las nubes gruesas con gotas de agua grandes son más precipitantes que las delgadas con gotas pequeñas.
- CLOUD TOP TEMPERATURE: Detectada con el infrarrojo térmico, es muy bien usado para determinar la altura de las nubes especialmente para las tipo convectivas.

El brillo de temperatura y la información sobre la altura de la cima de la nube se referencia mediante la banda 10.8 μm . En el estudio también se utilizó la diferencia entre los canales de vapor de agua (WV) e infrarrojo (IR) para generar un buen indicador de si la cima de la nube alcanza un nivel alto como células convectivas.

En los niveles bajos, y debido a la absorción de vapor de agua en la atmósfera, las temperaturas de las nubes observadas en los canales de 6.2 μm y 7.3 μm son más bajas que

sus temperaturas máximas en bandas infrarrojas de 10.8 μm y 12.1 μm , respectivamente, lo que representa, de hecho, la temperatura real sobre las nubes. Además, las nubes que alcanzan niveles altos parecen ser brillantes en el agua.

Como resultado, las diferencias de temperatura de brillo (BTD) $\Delta T_{6.2-10.8}$ y $\Delta T_{7.3-12.1}$ toman valores negativos para las nubes con picos bajos, y tienden a un pequeño negativo en valores de convección profunda con nubes altas. Entonces, el estudio incluye dos parámetros al conjunto de características. Igualmente, la diferencia de temperatura $\Delta T_{6.2-7.3}$ también se utilizó en este estudio porque puede estar relacionado con la altura de la nube (Giannakos y Feidas, 2012); es mayormente negativo para nubes de nivel medio y ligeramente negativo para nubes altas y gruesas.

Pasos de metodología:

1. Pre procesamiento de imágenes MSG.
2. Determinación de temperatura en IR y reflectancia en VIS.
3. Logro de generación de características multispectrales y detección de píxeles lluviosos.
4. Delineación de las células convectivas. Para el análisis de las células convectivas, los autores utilizaron Artificial Intelligent Systems y Support vector machine.

La importancia de la teledetección de nubes convectivas tiene gran relevancia no solo a nivel meteorológico y de seguimiento del tiempo, sino también por su importancia aplicada los temas aeronáuticos, como lo trataran los investigadores (Rillo, Zollo, Mercogliano y Galdi), con su trabajo titulado "Detection and forecast of convective cloud using MSG data for aviation Support" el cual resalta la importancia de las nubes convectivas especialmente de las nubes tipo CB y como éstas son peligrosas. Se han hecho muchos trabajos acerca de la diferencia de brillo de temperaturas de bandas y éste procedimiento es de importancia en el trabajo junto a la información de los radares, adicionando el hecho de que los satélites son utilizados para la detección de nubes, todo con el fin de dar reportes más directos en aviación en cuanto al estado del tiempo y los posibles riesgos a futuro, también con ayuda de modelos de predicción del tiempo (Rillo, Zollo, Mercogliano, & Galdi, 2015).

El flujo de trabajo en el documento inicia con la descripción de nubes de interés seguido de las fases de convectividad y las temperaturas en las fases donde se produce dicha convectividad

Para tener en cuenta:

- El brillo de temperatura en la banda 10.8 μm con una temperatura de -236K . Con esto y las variaciones de temperatura fue posible detectar las celdas en la nube (algoritmo blobs).
- Para la detección de las fases se comparan tiempos con la banda 10.8 μm En primer lugar, los núcleos de nubes convectivas en la imagen en el tiempo "t" se calculan identificando las temperaturas mínimas de brillo infrarrojo: los núcleos de nubes son las áreas más frías de la nube.

Después de eso se observó el comportamiento del infrarrojo y las temperaturas de brillo del vapor de agua en la imagen en el momento t-1. De hecho, la fase de disolución ocurre cuando el contenido de vapor de agua disminuye y cuando aumenta la temperatura del brillo infrarrojo y por otro lado la fase de desarrollo se caracteriza por una disminución de las temperaturas de brillo en ambos canales (Rillo, Zollo, Mercogliano, & Galdi, 2015). Además, se supone que dicha disminución se produce rápidamente porque la etapa de desarrollo dura menos que la de disolución.

El momento de predicción se realizó por medio del modelo COSMO LM, en el cual se utilizan modelos de transferencias radiactivas que emulan las radiancias y BT de SEVIRI y añadiendo parámetros proporcionados por el modelo COSMO (temperatura, humedad, líquido de nubes de agua, nube agua helada, cubierta de nubes, presión, Presión superficial, temperatura de la piel, temperatura de 2 metros, específico de 2 metros, humedad, máscara tierra-mar).

El proceso de este trabajo se realizó por medio del software Matlab y su validación se contrastó con los siguientes productos:

- Lampinet (product for lightnings detection).
- CTTH Cloud Top Temperature and Height: Producto para la detección de la altura de tope de nube y la temperatura.
- CRR (Convective Rainfall Rate: product defining convective rainfall rates).
- CT (Cloud Type: product reporting cloud types).
- Radar SRI (Surface Rainfall Intensity).
- Cloud Top: Producto que informa las temperaturas de la nube, las alturas y los niveles de vuelo.

El resultado de esta investigación (Rillo, Zollo, Mercogliano, & Galdi, 2015) arrojó resultados interesantes frente al contase de los productos anteriormente mencionados, los cuales fueron:

- Los relámpagos detectados por LAMPINET ocurren en zonas correspondientes a áreas que el algoritmo identifica como convectivas frías. Como consecuencia, el producto es capaz de detectar correctamente fenómenos convectivos caracterizados por relámpagos. Además, se observa la correspondencia entre las ubicaciones de los rayos y las áreas en desarrollo de las nubes convectivas.
- El producto CRR detecta precipitaciones convectivas intensas en las mismas áreas que el algoritmo identifica como las partes más frías de las nubes convectivas. Como consecuencia, el producto detectó correctamente nubes que producen precipitaciones convectivas.
- Existe una correspondencia perfecta entre las temperaturas identificadas por el producto y las detectadas por CTTH Cloud Top Temperature.
- Las imágenes de radar detectan las tasas de precipitación más altas en áreas caracterizadas por células convectivas frías. Tal resultado confirma la correcta detección de áreas convectivas.
- Existe una correspondencia perfecta entre las alturas de la parte superior de la nube estimada por el algoritmo para la representación simplificada de las nubes convectivas y los productos de Altura superior de la nube CTTH y CTT.

Cabe destacar que muchos de estos trabajos han sido realizados por otros satélites que al igual que GOES-16 tiene como objetivo el de monitoreo y seguimiento de fenómenos atmosféricos. El trabajo realizado por Krawczyk K y Jasiński J (Krawczyk & Jasinski, 2014), describe al principio todas las amenazas que se pueden producir por fuerte convectividad y por nubes CB con datos del radiómetro SEVIRI (del satélite MSG) e imágenes de SEVIRI y datos del espectro radiómetro del satélite MODIS.

La detección y el monitoreo de los fenómenos convectivos generalmente se pueden realizar utilizando imágenes satelitales de un solo canal. La disponibilidad de datos de varios o incluso unas pocas docenas de canales proporciona un gran potencial de análisis de procesos atmosféricos. Se basan en la aplicación de las imágenes del canal visible. Las imágenes adquiridas de los espectros radiómetros MODIS y VIIRS y del radiómetro SEVIRI en el canal HRV son especialmente útiles para el análisis de la estructura de las nubes de convección. La estructura de nubes convectivas que se distingue por una reflectancia muy alta es característica de nubes profundas de alto contenido de agua y compuesta de pequeñas gotas de agua. El albedo permite identificar la estructura espacial de la cubierta de nubes. También es posible reconocer las nubes Cirrus que a menudo están relacionadas con las células convectivas en su etapa avanzada de desarrollo.

La aplicación de imágenes adquiridas en la banda de infrarrojo cercano del espectro (por ejemplo, 1,6 μm) proporciona un complemento útil de la información relativa a los procesos de convección en la atmósfera. Los cristales de hielo absorben fuertemente la radiación solar en esta banda espectral, por lo que las células convectivas que en gran medida están formadas por cristales de hielo tienen valores de reflectancia visiblemente más pequeños en comparación con las nubes en las partes más bajas de la troposfera. La comparación de imágenes en las bandas visible e infrarroja cercana puede indicar los procesos prevalecientes en la nube (Krawczyk & Jasinski, 2014).

Algunas de las ideas que los autores mencionan hacen referencia al aumento del brillo en imágenes IR consecutivas que indica que la temperatura de la parte superior de la nube disminuye en las áreas que se interpreta como el aumento de la altura de las cimas de las nubes. Por otro lado, las partes más frías usualmente indican el núcleo de la célula de tormenta.

Pero el estudio de convectividad no sólo va relacionado con los fenómenos que suceden en la atmósfera; de hecho, la participación de los cambios de temperatura en la cubierta terrestre hace que la dinámica atmosférica sea mucho más variable. Autores como Mikus & Mahovic (Mikus & Mahovic, 2012) realizaron una investigación con los propósitos específicos; encontrar un método confiable para la detección automática de los excesos en las imágenes de satélite e investigar la correlación entre la aparición de los OT y la aparición de condiciones meteorológicas extremas en el suelo.

En la primera parte de la investigación, se presentan los métodos de detección basados en satélites, y se presentan los resultados en comparación con la aparición de la textura grumosa asociada con las apariencias del OT en las imágenes HRV para validar las habilidades de los métodos para localizar nubes convectivas y posibles sobre pasamientos. Los investigadores hacen un análisis de la correlación entre el OT detectado y la ocurrencia de ráfagas de viento, caídas de temperatura, aumentos de humedad relativa y precipitación. Para los fines del trabajo se compararon métodos como:

- WV - IRW > 4 K
- CO2-IRW > 3.5 K
- O3-IRW > 13 K
- COMB >4 K & > 13 K

Donde la mejor técnica fue la de COMB, seleccionada así para el propósito de este documento.

VII. Descripción temporal y espacial del estudio

Es pertinente analizar la resolución espacial y temporal que se tiene como base para posteriormente contar con mayor claridad frente a los insumos requeridos para la investigación. A continuación, se hace una descripción de estas resoluciones.

Dimensión temporal.

A partir de la información suministrada por la Aerocivil, se hace pertinente el estudio desde enero de 2019 a junio del mismo año. Dicha dimensión temporal hace referencia principalmente al suministro de imágenes por parte del satélite GOES-16 a la Aerocivil.

Como el objetivo principal de este trabajo es el estudio convectivo, se hizo necesario el suministro de datos por parte de entidades como el IDEAM con la estación meteorológica del aeropuerto Eldorado el cual proporcionó datos de precipitación del mismo periodo de tiempo para la estación automática. También se utilizaron datos de los METARES del mismo periodo de tiempo por medio de la página web de OGIMET.

Por un lado, se descartaron los datos suministrados por el IDEAM, esto debido a que las estaciones solo detectan las precipitaciones en un punto específico, lo cual no genera una relación directa con respecto a la convección de gran escala si se tiene en cuenta grandes extensiones como Bogotá o incluso la totalidad del territorio colombiano.

Como se mencionó anteriormente, se utilizaron datos METAR (Meteorological Aeronautical Report). Este es un reporte estandarizado que informa el estado del tiempo atmosférico, siendo el nombre de la clave utilizada para los informes meteorológicos de rutina en los aeródromos, los cuales se emiten generalmente cada hora y permite tener conocimiento de los fenómenos y variables atmosféricas en los aeródromos con el fin de garantizar la seguridad en las operaciones.

Por otro lado, el SPECI es el nombre de la clave utilizada para los informes meteorológicos especiales para aeródromos, los cuales se encuentran estandarizados por el documento OMM-306 (OMM, 2009). Los informes METAR y SPECI divididos en una serie de grupos los cuales contienen información del tiempo actual relacionados a continuación:

- Identificador del mensaje: Esto muestra si se trata de informe METAR, SPECI u otros
- Identificador del lugar: Es la codificación según la OACI de cualquier punto de observación meteorológico en el mundo. Para el caso Bogotá se codifica SKBO.
- Fecha y Hora: los dos primeros dígitos muestran el día, y los siguientes dígitos especifican la hora del reporte meteorológico en hora Zulú, el cual es el mismo tiempo universal coordinado UTC o tiempo en el meridiano de Greenwich GMT.

- Viento: Muestra la dirección del viento en el momento del reporte, que puede ir acompañado de ráfagas de viento o sus variabilidades.
- Visibilidad: La visibilidad más prevalente en la estación en el momento de la observación o sus reducciones sectorizadas.
- Fenómeno: Según el hecho atmosférico más prevalente al momento de la observación.
- Capa de nubes: Van de acuerdo a la cantidad de nubes observadas a las inmediaciones de la observación, las cuales pueden ser escasas, dispersas, fragmentadas y cielo cubierto.
- Temperatura y punto de rocío: los dos primeros dígitos del grupo, representa la temperatura en grados Celsius. Los dos últimos dígitos del grupo, indica la temperatura de rocío (td) Si alguno de ellos es menor a 0, entonces se le agrega la letra M (Ejemplo 02/M04: indica una temperatura de 2 °C con una temperatura de rocío de -4 °C), cabe recalcar que el punto de rocío nunca será mayor a la temperatura, ya que nunca va a haber una sobre saturación del ambiente, siendo este igual o menor.
- Ajuste altimétrico: La OMM estandarizó la presentación del ajuste altimétrico en Hectopascuales y se indicara Q1013 a nivel del mar o en algunos otros casos por acuerdos del país en Pulgadas de mercurio y se indicara como A2995 (Altimetro).
- Fenómenos recientes: De haberse presentado en la última hora, pero no en el momento de la observación un fenómeno de tipo de hidrometeoro en forma de precipitaciones y formados a nivel de pista; como también el fenómeno de tormenta.
- Viento WS: Vientos cortantes en capas inferiores.
- Tendencias: Pronóstico TREND o tendencia a las 2 siguientes horas.
- Observaciones: RMK (Recent weather of operational significance. ReMark): Descripción complementaria al METAR ya sea de las nubes convectivas o fenómenos de interés en el momento de observación.

Para el trabajo de investigación, fue necesario canalizar la información para estandarizar los fenómenos convectivos de interés. Teniendo en cuenta la información dada en cada uno de los grupos de los reportes se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros para la selección de días específicos y fenómenos específicos

Fenómeno: Está descrito como el hecho más notable y presente al momento de la observación, la nomenclatura de estos fenómenos se encuentra consignados en la Tabla de cifrado 4678 “w’w’ Tiempo significativo presente y previsto” consignada en el documento OMM-306.

TS: Tormenta eléctrica

TSRA: Tormenta eléctrica con lluvia moderada

RETS: Tormenta eléctrica reciente

TSRAGR: Tormenta eléctrica con granizo y lluvia fuertes

Nubes: Para la selección de reportes fue necesario identificar aquellos con presencia de nubes de desarrollo vertical como los torrecúmulos y cumulonimbus

CB: Cumulonimbus

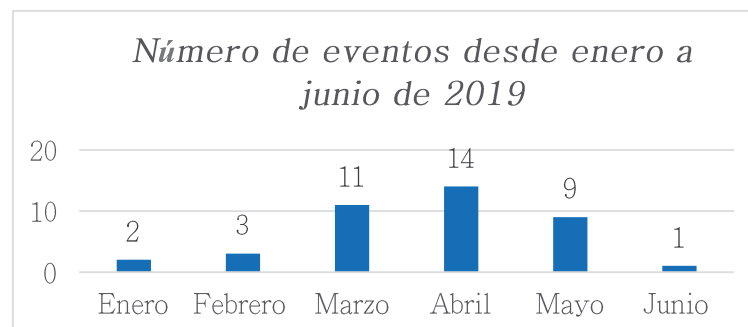
TCU: Torrecúmulos

El siguiente es un ejemplo de reporte METAR con su respectiva descripción

METAR SKBO 052100z 31010kt 9999 -TSRA SCT017CB SSCT100 17/12 A3028 RMK CB/NE=

En el anterior METAR se especifica que hay tormenta eléctrica con lluvia ligera el día 5 de enero a las 16:00 hora local colombiana en el aeródromo Eldorado, donde también hay presencia de Cumulonimbos al noreste del aeródromo

1. Elección de reportes. En total se analizaron 5768 reportes METAR y SPECI entre el 1 de enero de 2019 desde las 00:00 hora zulú (0000Z) hasta el día 30 de junio a las 23:58 horas zulú (2358Z) de los cuales se etiquetaron 40 "eventos". Para el caso específico del trabajo, un evento se describe como aquel que presentaba un fenómeno descrito por más de 2 o 3 horas o el que presentó por un largo periodo de tiempo la presencia de nubes de desarrollo vertical.



Gráfica 1: Reportes con "eventos" en el primer semestre del año 2019

La gráfica número 1 muestra la incidencia de fenómenos meteorológicos relacionados a nubes convectivas en las inmediaciones del aeródromo Eldorado. Los fenómenos que se documentaron tardan en promedio 2 a 3 horas, pero los fenómenos escogidos específicamente, aparte de cumplir con condiciones de fenómenos severos y presencia de nubes de desarrollo vertical, fueron esos eventos que presentaron nubes convectivas por un determinado tiempo, se precipitaron de manera fuerte y finalmente terminaron con su ciclo de disipación.

Para el periodo de muestreo se seleccionó un primer evento de estudio el día 18 de marzo desde las 14:00 hasta la 20:00 horas locales, el segundo día corresponde al 17 de abril

del mismo año desde las 16:00 a las 22:00 horas locales.

Dimensión espacial

Es pertinente mencionar que los análisis meteorológicos que en este momento se hacen en la aeronáutica civil, se hacen por medio de equipos como radares meteorológicos y las imágenes satelitales, generalmente la banda del 10.3 del infrarrojo, que permite en un lapso de 15 minutos aproximadamente, ver los ciclos de duración de las nubes. Este análisis se hace de manera visual por parte de meteorólogos que han trabajado estas imágenes desde hace tiempo.

También es importante aclarar que la delimitación espacial del trabajo se refiere a específicamente a lo que corresponde al espacio aéreo colombiano el cual "cubre todo el territorio nacional incluyendo áreas marítimas sobre los 20.000 pies de altitud. En este espacio aéreo se presta el servicio de control de tránsito aéreo, y se organiza en Regiones de Información Superior (Flight Information Región (FIR)). Colombia se encuentra dividida en dos regiones: FIR Bogotá (FIR BOG) y FIR Barranquilla (FIR BAQ)" (Gómez Gómez , Modelamiento y simulación de un subred de enlace de datos en VHF(VDL), para el soporte de servicios de tránsito aéreo bajo el concepto CNS/ATM en Colombia, 2014).

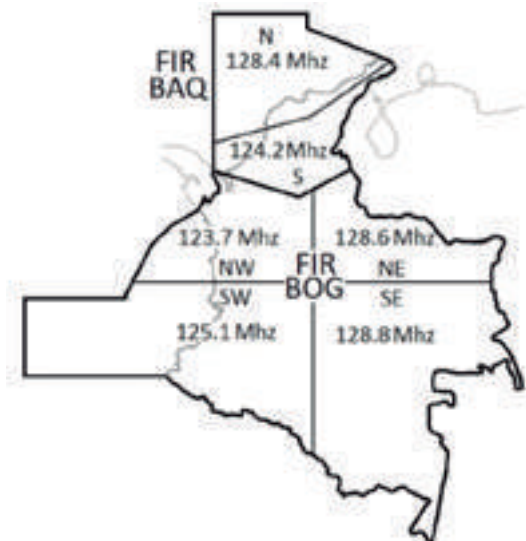


Figura 14: Esquema de Región de Información de Vuelo FIR Colombia.

Fuente: (Gómez Gómez, Modelamiento y simulación de un subred de enlace de datos en VHF (VDL), para el soporte de servicios de tránsito aéreo bajo el concepto CNS/ATM en Colombia, 2014)

Debido a que los METARES fueron seleccionados para el aeródromo de Bogotá, se toma de muestra el espacio referenciado a las inmediaciones del Aeródromo Internacional Eldorado.

VIII. Descarga y características de imágenes satelitales del estudio

La NOAA mediante sus diversas instancias, tiene varios medios para la descarga de datos para usuarios con intereses afines académicos y de investigación. Las principales plataformas para la descarga de imágenes satelitales del sensor ABI son descritas a continuación:

- CLASS (Comprehensive Large Array-Data Stewardship System): Este es un repositorio que permite, mediante un usuario y una contraseña, la solicitud de datos de calibración e imágenes satelitales y demás productos de los diferentes satélites. Cabe resaltar que algunos de los productos son parcialmente restringidos para usuarios. Dependiendo de la cantidad de datos solicitados, el tiempo de confirmación y recepción de los datos será más largo (ver figura 15).



Figura 15: Repositorio de imágenes de Satélite NOAA.

Fuente: (NOAA, s.f)

- NCEI (National Centers for Environmental Information): Los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de NOAA son los encargados de brindar acceso a datos relativos a la tierra, el océano, la atmósfera y datos geofísicos. NCEI es la principal autoridad de los Estados Unidos para la información ambiental (ver figura 16) (NOAA, s.f.).



Figura 16: Acceso a imágenes de Satélite NOAA.

Fuente: (NOAA, s.f.)

Por medio del proyecto Big Data, los datos de los diversos sensores del GOES-16 están a la disposición de usuarios interesados, datos que estarán en la nube. Los datos ofrecidos con este proyecto son:

- Imágenes de ABI en nivel 1b (nivel de radianza)
- Imágenes de productos avanzados de nube y humedad
- Datos geostacionarios de Lightning Mapper Level 2 (GML).

Las plataformas ofrecidas para este proyecto son Open Commons Consortium, Amazon y Google Cloud.

Para el desarrollo de este trabajo es importante definir el tipo de datos ofrecidos por la NOAA y el formato de archivos usados en la actualidad.

Archivos NetCDF: Este es un archivo global de información científica, esto debido a que su uso y su tratamiento se hacen generalmente en APIs (debido a sus siglas en ingles Application Programmer Interfaces) para lenguajes como Java, C++, C y Fortran). Los datos del GOES-16 utilizan el formato NetCDF-4 y las convenciones de metadatos CF (Climate and Forecast). Las convenciones en los productos de niveles de ABI Nivel 1b y 2b+

- "Identificación y semántica de datos ambientales en cuadrícula
- Extensiones a las variables de coordenadas definidas de la Guía del usuario de NetCDF (NUG), que permiten localizar datos ambientales en el espacio y el tiempo

- Definición precisa de cada variable mediante la especificación de un nombre estándar y sus unidades de medida.
- Coordenadas espaciales para datos cuadriculados y muestreados discretamente.
- Descripciones de intervalos de coordenadas, celdas multidimensionales y valores de datos que son representativos.

De un intervalo basado en espacio o temporal o celda.” (NOAA, 2018)

Niveles de procesamiento

1. Nivel L0: Estos productos tienen los datos básicos de telemetría y datos de la órbita, velocidad angular, tiempos de detección de datos de igual manera los metadatos que contienen la catalogación del nombre de los productos (NOAA, 2018)

2. Nivel L1b: Los productos de Nivel L1b contienen datos calibrados radiométricamente que a su vez son datos de observación de Nivel L0 corregidos geométricamente. Estos datos se procesan para que estén en unidades de medida física y así poder simplificar su uso añadiendo el hecho de que también contienen datos de ubicación.

Los productos de nivel 1b de este sensor se encuentran en medidas de radianza para sus bandas en una grilla o cuadrícula fija, lo que permite una estandarización de datos y el posicionamiento ideal de los datos desde un satélite de órbita geoestacionaria.

3. Nivel L2b: Estos productos contienen datos en magnitudes físicas como altura (para las cimas de nube) Temperatura (tanto para superficie de la tierra y nubes). La base para la generación de estos productos parte de las 16 bandas espectrales del nivel L1b, y radiancia. Son de gran importancia a la hora de detección de objetos como hielo y nieve. Existen 9 tipos de información y de cada uno de éstos, existen 1 o más productos derivados.

Los tipos de productos son:

- Nubes
- Aerosoles
- Perfiles verticales Atmosféricos
- Precipitación
- Vientos
- Superficie
- Océanos
- Radiación
- Relámpagos

Grilla fija para los datos de ABI

Como se mencionó anteriormente, la grilla está estandarizada para los productos L1b y L2b lo que permite ubicar puntos específicos iguales en todos los productos teniendo en cuenta el elipsoide de referencia GRS80.

1. Sistema coordenado. La grilla está representada de forma cartesiana donde "x" representa el ángulo de escaneo de Este a Oeste y "y" representa el ángulo de escaneo de norte a sur donde la medida de unidad es el radian el cual es utilizado para expresar la separación entre los puntos de la grilla, que es de 14, 18 y 56 microradianes que se miden desde el subpunto de satélite ubicado en las equinas de cada grilla.

Los puntos de datos de imágenes de cuadrícula fijan ABI se pueden ubicar en la tierra teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Conociendo el subpunto de satélite
- La resolución espacial horizontal de los datos de imágenes
- Distancia ideal desde la tierra del satélite geoestacionario
- El elipsoide de referencia (GRS80) que permite determinar la ubicación en la tierra de cada punto de datos en la cuadrícula fija.

A continuación, la tabla 4, se verán las medidas referentes a la grilla del sensor ABI, muestra la extensión horizontal y vertical de las imágenes de ABI en medidas de radianes

Tabla 4: Extensión en radianes de las imágenes satelitales.

	E/W EXTENSIÓN DE COBERTURA	N/W EXTENSIÓN DE COBERTURA
La cobertura del producto Full Disk L1b consiste en aquellos píxeles cuyos centros caen dentro de la GRS80 El centro de la imagen de disco completo es el subpunto de satélite.	0,30370416	0,302701402

La tabla número 5 muestra la extensión de norte a sur y de este a oeste de las imágenes de ABI.

Tabla 5: Extensión en píxeles de las imágenes ABI

	N/S	E/W
Dimensiones	5424	5424

La tabla número 6 muestra la los ángulos del pixel nor-oeste de las imágenes de ABI.

Tabla 6: Ángulos del pixel más al nor-oeste de la imagen

Identificación de los ángulos de exploración N / S de elevación y E / W del centro del píxel más al noroeste en imágenes Full Disk y CONUS	X	Y
	-0,151844	0,151844

La tabla número 7 muestra los Centro de la imagen Full disk de las imágenes de ABI.

Tabla 7: Centro de la imagen Full disk

Centro de imágenes ABI (coordenadas de cuadrícula fija) Identifica los ángulos de exploración N / S y E / W de exploración del centro de las imágenes CONUS y Full Disk	CENTRO E/W	CENTRO N/S
	0	0

La tabla número 8 muestra los Limites de la imagen Full disk de las imágenes de ABI.

Tabla 8: Limites de las imágenes Full disk en radianes

Identifica los ángulos de elevación N / S de las extensiones N / S y los ángulos de exploración E / W de las extensiones E / W de las imágenes Full Disk y CONUS	Límites de la imagen (x)		Límites de la imagen (y)	
	W	E	N	S
	-0,151872	0,151872	0,151872	-0,151872

La figura 17 muestra la distribución de la grilla en lo que se observa sus dimensiones y las principales variables para tener en cuenta al momento de navegar en los datos de las imágenes satelitales. Como podemos ver, los parámetros están relacionados con los principales parámetros definidos para el elipsoide de referencia GRS80 o también WGS84.

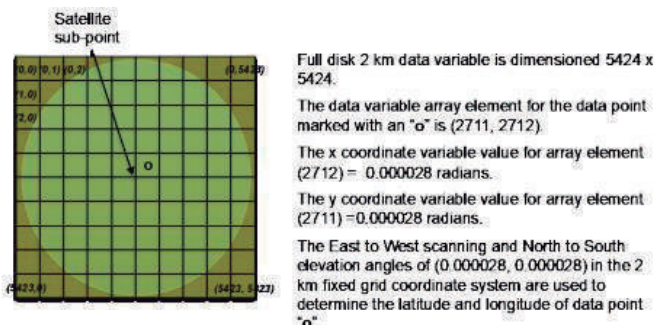


Figura 17: Distribución de la grilla
Tomado: (NOAA, 2019)

1. Navegación en la imagen

Teniendo en cuenta los ángulos de escaneo de norte a sur y de este a oeste y el elipsoide de referencia, estos son determinantes para encontrar la latitud y longitud geodésica y teniendo en cuenta las unidades del sistema internacional según la Tabla 9.

Tabla 9: Parámetros para la navegación en las imágenes de ABI

Parameter	netCDF Product File Attributes for the "goes_imager_projection" Variable	Attribute Value	Definition
r_{eq}	semi_major_axis	6378137 m	GRS80 semi-major axis of earth
$1/f$	inverse_flattening	298.257222096	Reciprocal of GRS80 flattening factor
r_{pol}	semi_minor_axis	6356752.31414 m	GRS80 semi-minor axis of earth = $(1-f)r_{eq}$
e	n/a	0.0818191910435	1 st eccentricity = $\sqrt{f(2-f)}$ = $\sqrt{(r_{eq}^2 - r_{pol}^2)/r_{eq}^2}$
n/a	perspective_point_height	35786023 m	Satellite height above ellipsoid
H	perspective_point_height + semi major axis	42164160 m	Satellite height from center of earth (m)
x	x	Input or Output Value rad	Fixed Grid E/W scanning angle (rad)
y	y	Input or Output Value rad	Fixed Grid N/S elevation angle (rad)
ϕ		Input or Output Value deg/rad	GRS80 geodetic latitude (deg/rad)
λ		Input or Output Value deg/rad	GRS80 longitude (deg/rad)
n/a	latitude_of_projection_origin	0 deg 0 rad	Satellite East latitude North
		0 deg 0 rad	Satellite West latitude North
		0 deg 0 rad	Satellite Test latitude North
λ_0	longitude_of_projection_origin	-75 deg -1.308996939 rad	Satellite East longitude East
		-137 deg -2.39110107523 rad	Satellite West longitude East
		-89.5 deg -1.56206968053 rad	Satellite Test longitude East

Tomado: (NOAA, 2019)

2. Navegación desde Ángulos N/S (y) y E/W(x) a latitud y longitud geodésica. Esta navegación se hace teniendo un punto con coordenadas "y", "x" en radianes, para encontrar su longitud y latitud. Este procedimiento y las ecuaciones que se plasmarán a continuación se encuentran consignados en el volumen 5 de la guía de usuario de la NOAA (NOAA, 2019)

- Ecuaciones

$$a = \sin^2(x) + \cos^2(x) \left[\cos^2(y) + \frac{r_{eq}^2}{r_{pol}^2} \sin^2(y) \right] \quad (1)$$

$$b = -2H\cos(x)\cos(y) \quad (2)$$

$$c = H^2 - r_{eq}^2 \quad (3)$$

$$r_s = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4)$$

$$S_x = r_s \cos(x) \cos(y) \quad (5)$$

$$S_y = -r_s \sin(x) \quad (6)$$

$$S_z = r_s \cos(x) \sin(y) \quad (7)$$

Teniendo en cuenta las anteriores ecuaciones, ya se puede establecer las ordenadas de latitud y longitud como aparece a continuación

$$\Phi = \arctan \left(\frac{r_{eq}^2}{r_{pol}^2} \frac{S_z}{\sqrt{(H - S_x)^2 + S_y^2}} \right) \quad (8)$$

$$\lambda = \lambda_0 - \arctan \left(\frac{S_y}{H - S_x} \right) \quad (9)$$

3. Navegación desde coordenadas geodésica latitud y longitud a Ángulos N/S (y) y E/W (x). Esta navegación se hace teniendo un punto con coordenadas de longitud y latitud para encontrar su ubicación en "x", "y" en la imagen. Este procedimiento y las ecuaciones que se plasmarán a continuación se encuentran consignados en el volumen 5 de la guía de usuario de la NOAA (NOAA, 2019).

$$\Phi_c = \arctan \left[\frac{r_{pol}^2}{r_{eq}^2} \tan(\Phi) \right] \quad (10)$$

$$r_c = \frac{r_{pol}}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2(\Phi_c)}} \quad (11)$$

$$s_x = H - r_c \cos(\Phi_c) \cdot \cos(\lambda - \lambda_0) \quad (12)$$

$$s_y = -r_c \cos(\Phi_c) \cdot \sin(\lambda - \lambda_0) \quad (13)$$

$$s_z = r_c \sin(\Phi_c) \quad (14)$$

Finalmente

$$y = \arctan \left(\frac{S_z}{S_x} \right) \quad (15)$$

$$x = \arcsin \left(\frac{-s_y}{\sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}} \right) \quad (16)$$

Descarga de imágenes satelitales del estudio

Para el caso de estudio, se descargaron las imágenes satelitales de un evento ocurrido entre enero a junio de 2019 con presencia de tormentas convectivas. A continuación, se explicarán pasos como la elección del día específico, la descarga de las imágenes y su respectiva descripción.

1. Elección de días de estudio. Como se explicó anteriormente, se encontraron aproximadamente 40 eventos con presencia de tormentas eléctricas y nubes de desarrollo vertical para el día 17 de abril del mismo año desde las 16Z las 22Z, de los cuales se seleccionan a continuación los usados en la investigación.

Tabla 9: Reportes seleccionados del día 17 de abril de 2019

Fecha y Hora Zulú	Reporte emitido para el aeródromo Eldorado (SKBO)
17/04/2019 1600Z	METAR SKBO 171600Z 35003KT 310V070 9999 BKN020TCU 19/10 A3034RMK TCU/S=
17/04/2019 1700Z	METAR SKBO 171700Z 36003KT 9999 -DZ BKN020CB 18/11 A3032=
17/04/2019 1735Z	SPECI SKBO 171735Z 25008KT 190V340 9999 TS BKN020CB 17/12 A3030 WS R13L RMK CB/VCSH/S/SW=
17/04/2019 1800Z	METAR SKBO 171800Z 25009KT 180V320 9999 3000SE -TSRA BKN020CB 18/09 A3029 WS R13L RMK CB/S/SW=
17/04/2019 1900Z	METAR SKBO 171900Z 22008KT 9999 VCSH SCT020CB SCT200 18/13 A3025 RETSRA RMK CB VCSH/NW=
17/04/2019 1910Z	SPECI SKBO 171910Z 24008KT 8000 TS SCT017CB SCT080 17/12 A3024 RMK CB/VCSH NW=
17/04/2019 2000Z	METAR SKBO 172000Z 30010KT 9999 TS BKN017CB SCT080 16/12 A3023 RMK CB VCSH/SE/N=
17/04/2019 2100Z	METAR SKBO 172100Z 27009KT 9999 VCSH SCT017CB BKN080 17/11 A3022 RETS RMK CB/VCSH/E/SE=
17/04/2019 2200Z	METAR SKBO 172200Z 28006KT 9999 VCSH SCT017TCU BKN090 17/10 A3023 RMK TCU VCSH/SE=

Fuente: Propia

La Tabla número 9 muestra los reportes seleccionados para el día 17 de abril de 2019 desde las 1600Z hasta las 2200Z donde en rojo están consignados los reportes meteorológicos tipo SPECI. Como se puede evidenciar, en los primeros reportes se observan nubes tipo torrecumulo y desde las 1735Z se empieza a reportar tormentas eléctricas con presencia de nubes cumulonimbus, fenómenos que es recurrente hasta las 2000Z. Después de esta hora se reportaron aguaceros en las vecindades con presencia de nubes cumulonimbus y torrecúmulos. Este análisis es indispensable para poder identificar las imágenes que se tendrán

en cuenta.

2. Descarga de imágenes. Para el caso específico se determinó la descarga de imágenes desde CLASS, teniendo en cuenta las horas requeridas y el tipo de producto. Teniendo en cuenta las grandes ventajas que presentan los productos meteorológicos emitidos por la NOAA, se utilizaron imágenes L2b CMIP (Cloud and Moisture Imagery Product). En total se descargaron 36 imágenes satelitales desde las 1600Z hasta a las 2150Z

La figura 18 muestra 6 imágenes descargadas de las 36 utilizadas. Para saber cuáles son las imágenes, fue necesario saber su codificación como se ve en la Tabla número 9 (parámetros para la navegación en las imágenes de ABI)

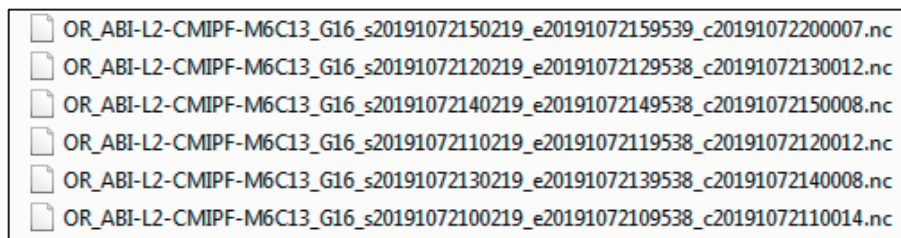


Figura 18: Muestra de imágenes descargadas

Fuente: Propia

Visualización de las imágenes

1. Softwares de procesamiento de imágenes. Como se mencionó en apartados anteriores, este tipo de formatos es leído sólo en el software especial o en lenguajes de programación como Python o softwares como MCIDAS-V, que por juicio de expertos es muchísimo más aplicable al desarrollo de nuevo conocimiento en datos de transferencia de gran nivel como lo son las imágenes satelitales de ABI (UNIDATA, s.f.).

ArcGIS: Este software es comercial y sus principales opciones se centran en cartografía y sistemas de información geográfica, añadiendo funciones de análisis espacial para datos geográficos tanto raster como vector. Es una herramienta ampliamente usada ya que empalma muchas funciones además del empalme de lenguajes como Python.

Si bien este software no es el más óptimo para el proceso y tratamiento de imágenes satelitales, si sirve como un referente de aproximación para fines académicos

- **Procesamiento de imágenes mediante el Software ArcGIS**

Las imágenes en formato NetCDF no pueden ser leídas directamente mediante el software ArcGIS, por lo que se hace necesario la implementación de herramientas (otool-

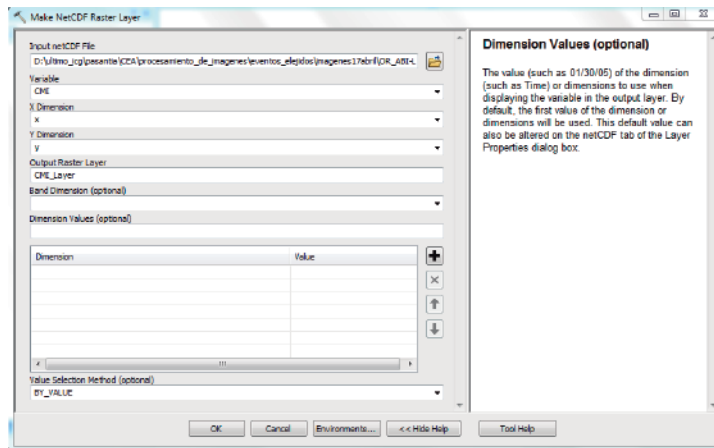


Figura 19: selección de imágenes en el software ArcGIS

Fuente: Propia

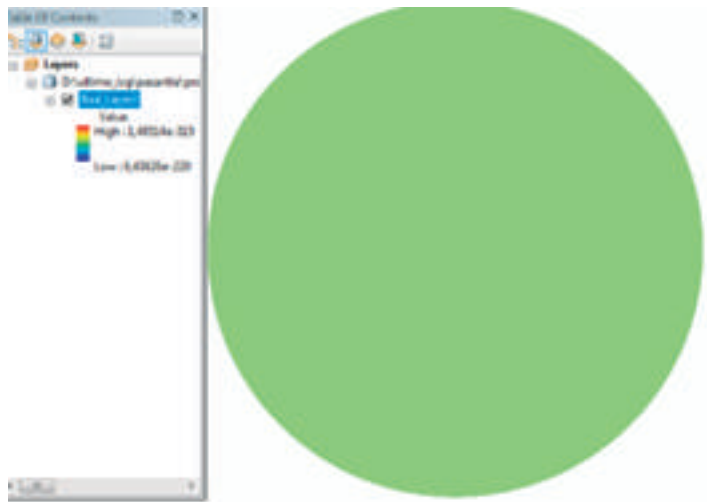


Figura 20: Primera visualización de la imagen ABI

Fuente: Propia

2. Generación de las imágenes y contraste con métodos de resamplero. Los métodos de remuestreo se definen como esas técnicas que permiten encontrar un valor radiométrico para cada uno de los niveles digitales de una imagen con el fin de encontrar un valor radiométrico fiel a cobertura observada.

Los métodos de remuestreo más utilizados son (ver figura 21):

- Vecino más cercano: También conocido como vecino más próximo y lo que hace es aproximar el valor del pixel más cercano de la imagen original. La ventaja de ésta tras formación es que es sencilla y no corrige tanto el valor radiométrico de los niveles digitales (Universidad de Murcia, s.f.)

- Interpolación bilineal: Promedia los valores de los 4 pixeles más cercanos los 82 cuales son ponderados por la distancia al pixel. Este método reduce la distorsión pero difumina los contrastes (Universidad de Murcia, s.f.)
- Convolución cúbica: Este método considera los 16 Pixeles más próximos y es precisa en casos donde se trabajen datos de satélite o fotografías digitalizadas (Universidad de Murcia, s.f.)

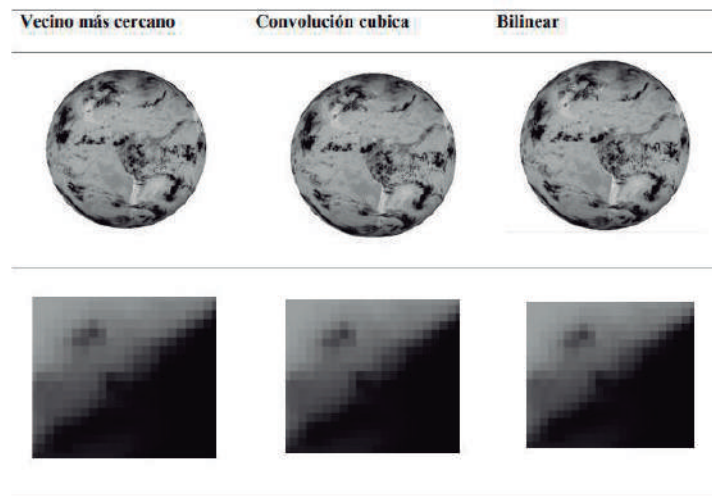


Figura 21: Métodos de resampleo
Tomado: (Universidad de Murcia, s.f.)

Para efectos del trabajo, el mejor método utilizado para las imágenes es el método de convolución cúbica, ya que es ideal para éste tipo de trabajos y además, presenta un mayor contraste frente a la imagen original.

3. Delimitación de las imágenes y asignación de coordenadas y elipsoide de referencia. La Tabla número 10 contiene las coordenadas latitud y longitud de los extremos de las imágenes de ABI, que se calcularon teniendo en cuenta las anteriores ecuaciones y la extensión de las imágenes satelitales. Para el procesamiento mediante el software, se asignó cada coordenada a la imagen y también se implementó el elipsoide WGS84 para la mejor definición de los datos.

Tabla 10: Calculo de coordenadas de forma manual

Ubicación de coordenadas calculadas								
	Radianes		Coordenadas					
	x	y	E/W			N/W		
Superior Izquierda	-0,151844	0,15135	-155	42,671253	40,275	81	9,3068	18,407
superior derecha	0,151844	0,15135	5	42,671253	40,275	81	9,3068	18,407
inferior derecha	0,151844	-0,15135	5	42,671253	40,275	-81	9,3068	18,407
inferior izquierda	-0,1518	-0,15135	-155	42,671253	40,275	-81	9,3068	18,407
Centro	0	0	-75	0	0	0	0	0

Tomado: (Universidad de Murcia, s.f.)

La figura 22 muestra la imagen final de las coordenadas calculadas. Como se puede observar, la asignación de puntos de referencia si bien es muy cercana, no es la más apropiada.

La visualización se deforma por los siguientes factores:

- En verde se encuentra una capa con la superficie terrestre de este lado del hemisferio. Como el layer es una proyección de la tierra en un plano, varía considerablemente.
- La proyección sigue todos los parámetros de los cálculos para la asignación de coordenadas, pero cabe recordar que el software no es el más óptimo para este proceso, pero si aproxima los fines de este proceso teniendo en cuenta los parámetros del elipsoide de referencia WGS84.

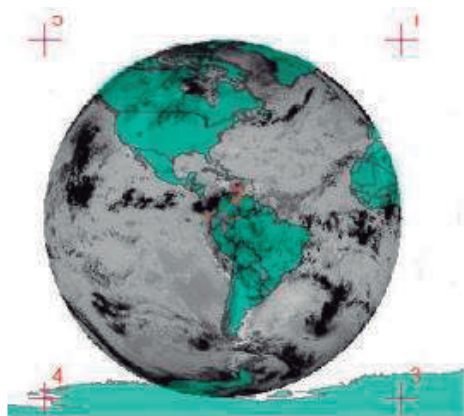


Figura 22: Asignación final de coordenadas para las imágenes ABI

Tomado: (Universidad de Murcia, s.f.)

El paso siguiente está delimitado generar la misma grilla de puntos para las demás imá-

genes satelitales descargadas para el estudio de caso.

- **Delimitación del área de estudio**

La figura 23 muestra una vista previa del área de interés que en caso específico se refiere al territorio colombiano. Para este paso se tendrá en cuenta una cuadrícula aproximada que contenga el territorio colombiano en su totalidad lo cual se constituirá como un área de interés. Se hace con la finalidad de tener solo la sección referente de Colombia, debido a la gran extensión de las imágenes (que en este caso abarcan el disco completo).

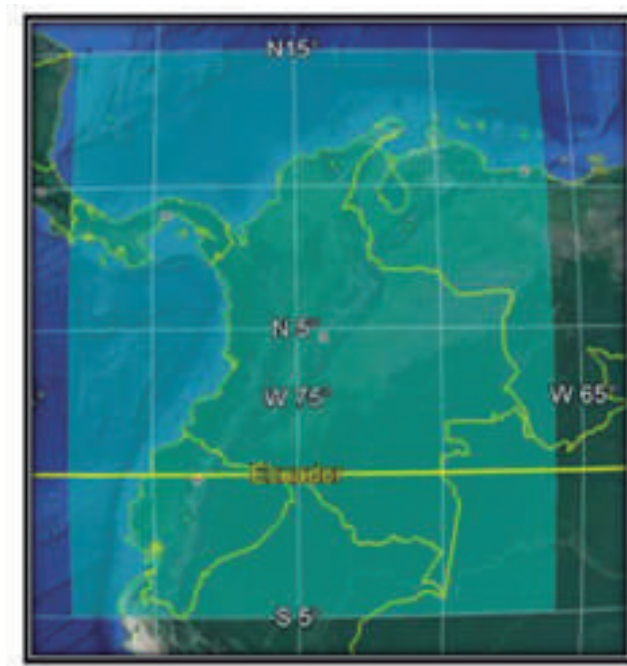


Figura 23: Área de interés

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta las coordenadas del área de interés, el siguiente paso es el de la selección de dicha área en las imágenes de la banda 13 (infrarrojo) y banda 8 vapor de agua

Las figuras 24 y 25 muestran los recortes respectivos para las bandas 13 y 8 para el área de interés para el día 17 de abril de 2019 a las 1600Z. Par hacer el análisis se optó por la diferencia de brillos de temperatura entre la banda 8 y la banda 13 generando el siguiente resultado:

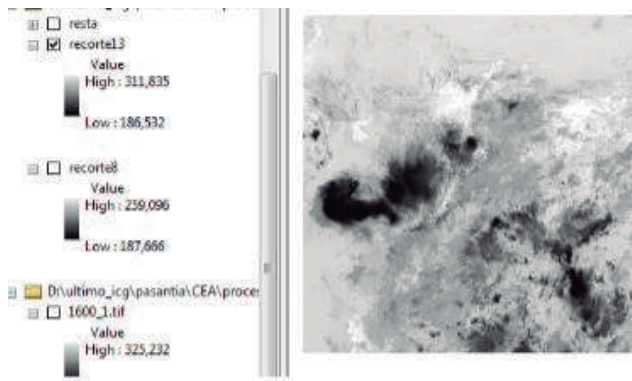


Figura 24: Recorte del área de interés con la banda 13

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta las coordenadas del área de interés, el siguiente paso es el de la selección de dicha área en las imágenes de la banda 13 (infrarrojo) y banda 8 vapor de agua

Las figuras 24 y 25 muestran los recortes respectivos para las bandas 13 y 8 para el área de interés para el día 17 de abril de 2019 a las 1600Z. Par hacer el análisis se optó por la diferencia de brillos de temperatura entre la banda 8 y la banda 13 generando el siguiente resultado:

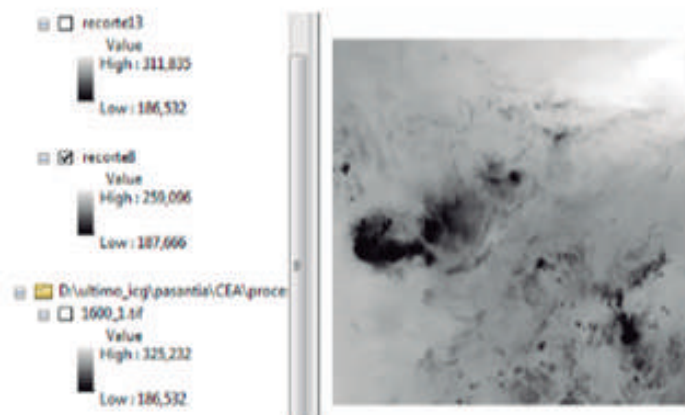


Figura 25: Recorte del área de interés con la banda 8

Fuente: Propia

- **Resta de bandas**

La figura 26 representa la resta entre las bandas 8 y 10 del sensor ABI para el área de interés. Esta resta se hace debido a que ambas bandas contienen en sus niveles digitales los brillos de temperatura respectivos para cada banda. Es un proceso en el cual los valores digitales son contrastados uno a uno.

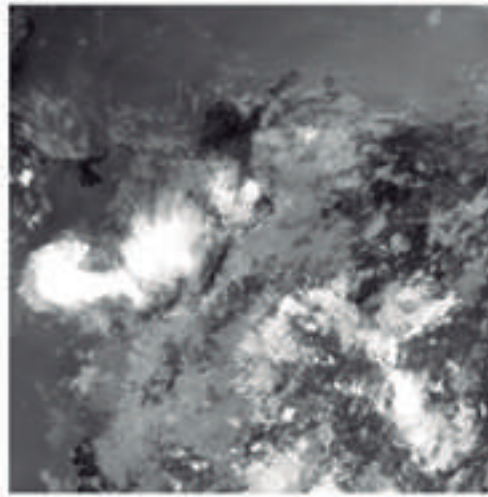


Figura 26: Resta de bandas 8 y 10

Fuente: Propia

Cabe anotar que la importancia y la buena implementación de las operaciones entre imágenes satelitales (lo que comúnmente se conoce con algebra de mapas) radica en el hecho de poder tener certeza de que los mismos niveles digitales que se contrasta sean los mismos en el espacio geográfico, para tener buenos resultados aproximados a la realidad que se quiere observar.

- **Brillos de temperatura -1 a -2 °K**

La figura 27 muestra las diferencias de brillos de temperatura entre las bandas. Se puede observar que se delimitan bien los núcleos convectivos de las imágenes, teniendo temperaturas de aproximadamente -1 a -2 °K, lo que nos acerca mucho más a la identificación de núcleos convectivos. Podemos contrastar también la veracidad de los datos teniendo en cuenta las bandas que fueron restadas (ver figuras 27 y 28).

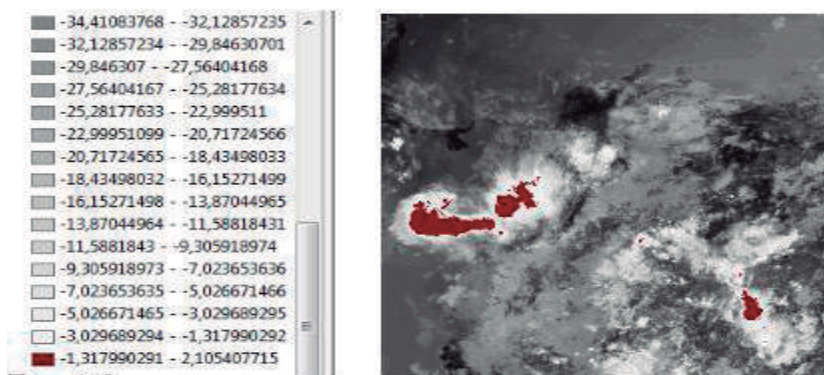


Figura 27: Brillos de temperatura -1 a -2 °K

- **Realces de la resta de banda**

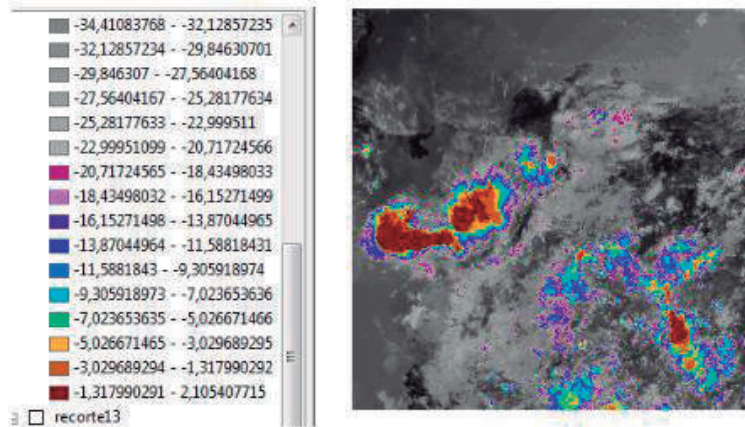


Figura 28: Realces de color entre bandas

Fuente: Propia

Visualización de imágenes con software especializado del Centro Nacional de Análisis y Pronóstico CNAP

Por medio del software LEADS (el cual es manejado en la Aerocivil) se pueden hacer procesos mucho más detallados en cuanto al procesamiento de imágenes para la generación de productos derivados.

Generación del producto de convección diurna RGB

Este producto propuesto por la NOAA, utiliza las diferencias de los brillos de temperatura en cada uno de los canales RGB para una composición que permite distinguir las zonas con convección profunda con presencia considerable de partículas de hielo. Para ello, utiliza las ventajas de las diferencias de brillos de temperatura. Las particularidades de este producto se centran en la plena identificación de convectividad en color amarillo y la diferencia de fase de maduración de los sistemas convectivos y su disipación en tonos naranja y rojo.

Tabla21: Diferencia de bandas para el producto de convección diurna RGB

CANAL	DIFERENCIA DE BANDAS	INFORMACIÓN
RED	6.2 μ m- 7.3 μ m	Altura de nube
GREEN	3.9 μ m- 10.3 μ m	Tamaño de partícula
BLUE	1.6 μ m- 0.64 μ m	Fase de nube

Fuente: (GOES R, s.f.)

Con los parámetros anteriormente establecidos en la Tabla 11, se realizó una prueba el día 07 de noviembre de 2019, donde se evidenció convección fuerte en la parte nor-occidental de Colombia (específicamente en las islas de San Andrés) en las figuras 29, 30 y 31 muestran el producto final para el día de la prueba.

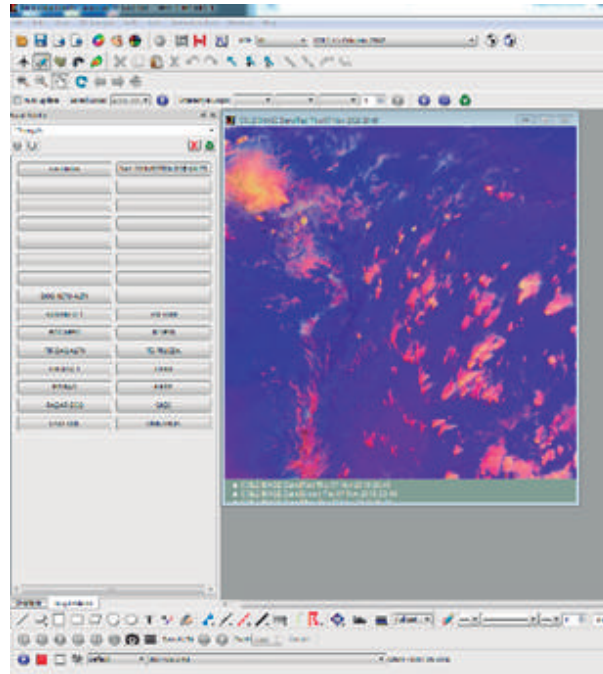


Figura 29: Procesamiento convección diurna RGB en el software LEADS
Fuente: Propia

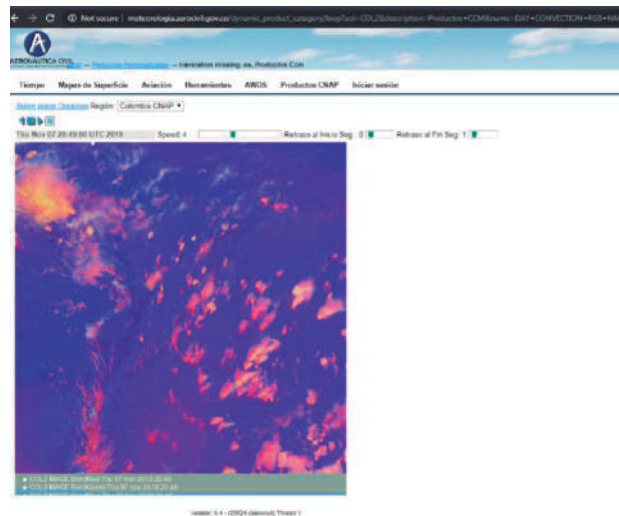


Figura 30: Visualización final del producto en la página de la Aerocivil
Fuente: Propia

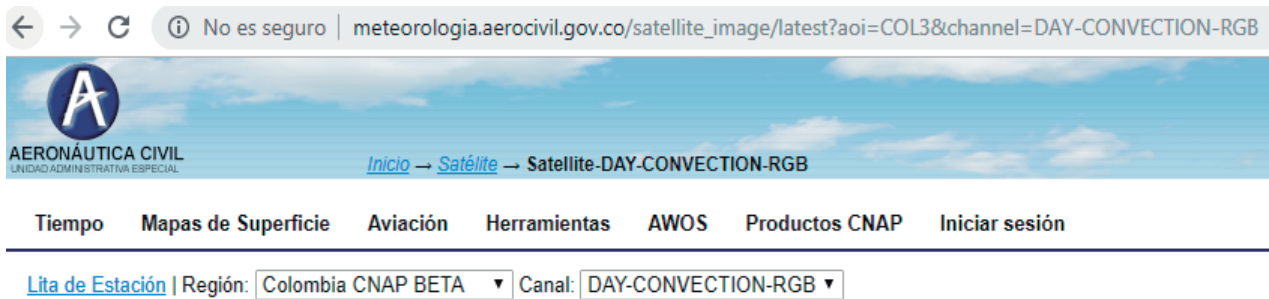


Figura 31: Visualización encabezado web del producto final en la página de la Aerocivil
Fuente: Propia

Para realizar la imagen anterior se utiliza la herramienta llamada Calculadora de imágenes del Sistema LEADS, la cual le permite descargar las imágenes satelitales de acuerdo con los canales y la zona de interés, posteriormente realizar las operaciones requeridas según el producto que se requiera generar (ver figura 32), para este estudio se hace una diferencia de bandas llamándolo producto de convección diurna RGB según la tabla 11 y la figura 33, logrando obtener así imágenes de núcleos convectivos.

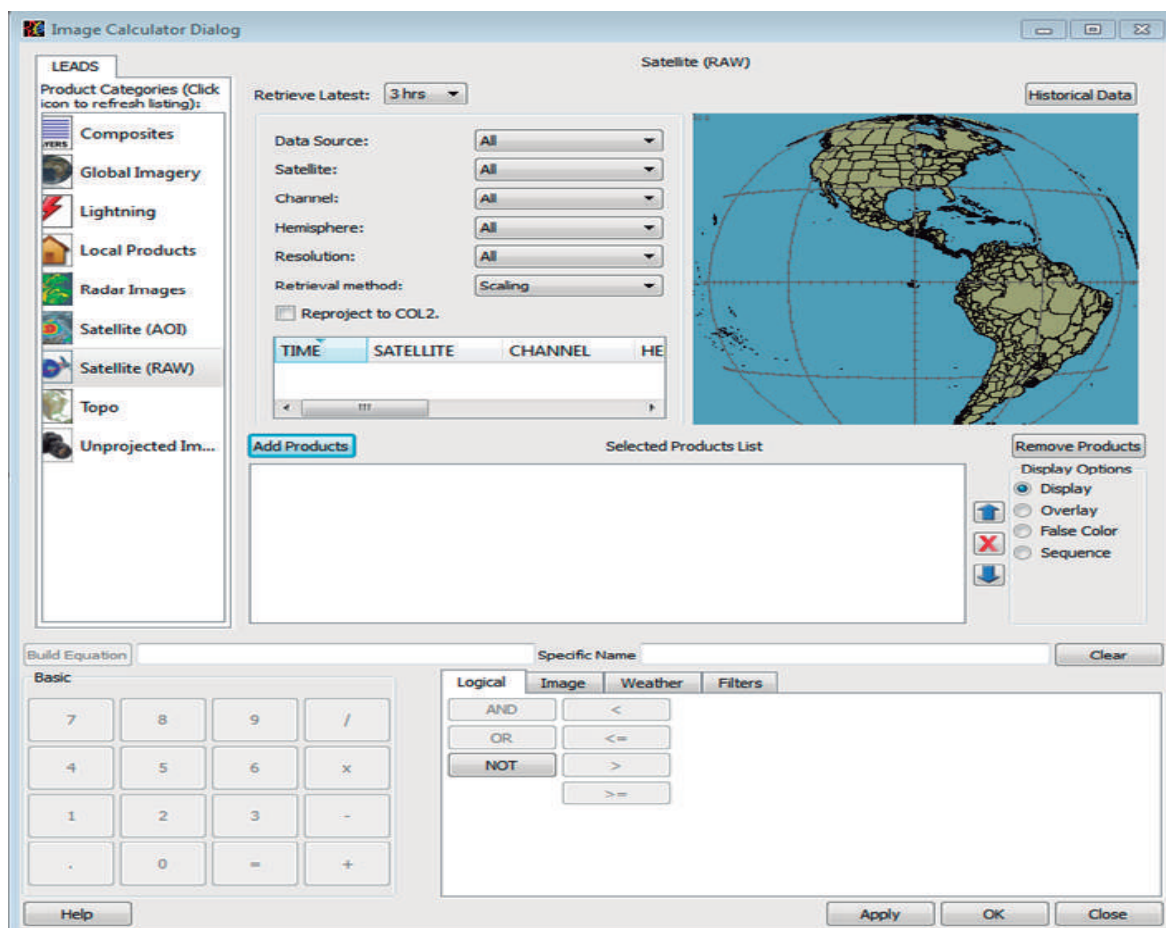


Figura 32: Calculadora de imágenes Fuente: Propia

Se selecciona y agregan las imágenes: imagen 1: 6.2 μm , imagen 2: 7.3 μm , imagen 3: 3.9 μm , imagen 4: 10.3 μm , imagen 5: 1.6 μm , imagen 6: 0.64 μm . Después se realiza el cálculo de las imágenes (Construir ecuación) : 1-2, 3-4 y 5-6, asignándoles un color (establecer mapa de color) a cada resta y una identificación así: 6.2 μm - 7.3 μm : RED, 3.9 μm - 10.3 μm : GREEN, 1.6 μm - 0.64 μm : BLUE, durante el proceso se debe tener en cuenta que cada operación se realice con las unidades correspondientes. Finalmente se hace una construcción de una imagen RGB visualizándolas como falso color y de acuerdo con las imágenes RED, GREEN and BLUE activando la opción de Color de imagen y la empareja con el color que le corresponde aplicando la selección.

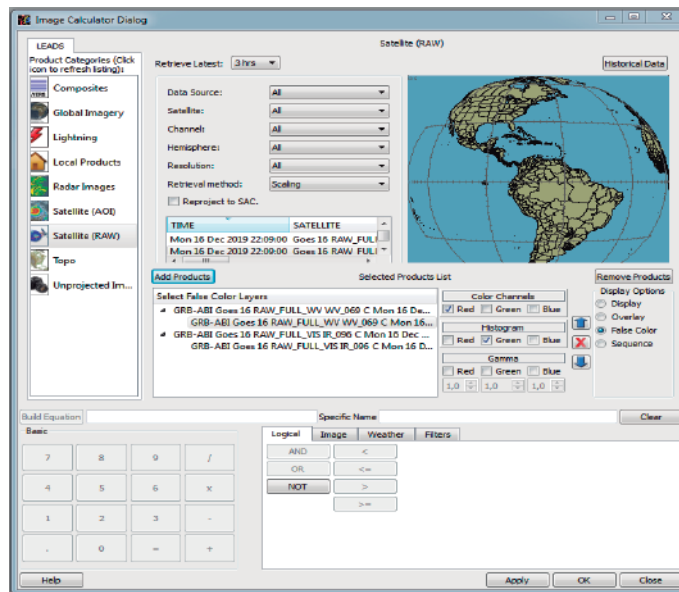


Figura 33: Calculadora de imágenes y visualización de falso color
Fuente: Propia

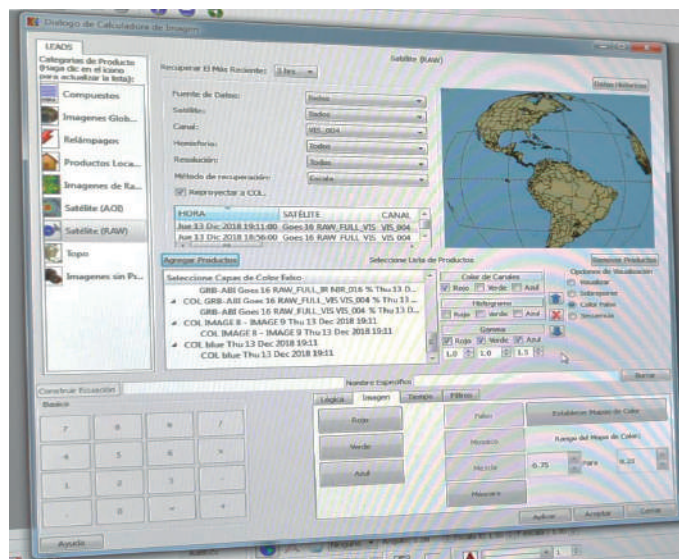


Figura 34: Calculadora de imágenes
Fuente: Propia

IX. Estructura metodológica para el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan la aviación

Operacionalmente los resultados más concluyentes conllevan a realizar el siguiente procedimiento:

1. Descargar las imágenes satelitales para la misma área y en el mismo tiempo de muestreo:

- Banda 8, Nivel superior de vapor de agua (6.2 μm)
- Banda 13, Infrarrojo limpio (10.3 μm)

2. Realizar la resta de las imágenes (Nivel superior de vapor de agua - Infrarrojo limpio):

Banda 8 - Banda 13: 6.2 μm - 10.3 μm : Convectividad Critica para Aviación

3. Al resultado que se llamará "Convectividad Critica para Aviación o CCA" se le realiza un realce de color, con este paso se puede visualizar los topes de las nubes convectivas y se identifican con temperaturas cercanas al cero grados Kelvin "0°K" los cuales, son las nubes que logran su desarrollo hasta la tropopausa, para aquellas que superan el límite de la tropopausa se encuentran valores de menos un y menos dos grados Kelvin "-1°K" y de "-2°K"

4. Analizar el proceso convectivo evidenciado como CCA con las temperaturas cercanas a los "0°K" y las "-1°K" y de "-2°K"

5. Para este proceso se deja operacionalmente un Guion llamado Convectividad Critica para Aviación el cual puede ser automatizado de la misma manera como ya lo está el producto de convección diurna RGB (ver figura 31) en versión Beta de la pagina web de la Aerocivil.

6. El operador puede establecer la incidencia operacional con la certeza que esta metodología arroja información de nubes convectivas asociadas a procesos de tormentas eléctricas.

7. Se propone validar el producto Convectividad Critica para Aviación con los productos de Convección Diurna RGB y de Convección Nocturna RGB de la NOAA, realizando una imagen sobrepuesta, una secuencia y una visualización individual.

Nota: Cada uno de estos procesos puede realizarse de acuerdo con los softwares con que cuente el ámbito operacional o académico y así mismo podrá realizar el paso a paso indis-

tintamente a la disponibilidad tecnológica, en los puntos anteriores de este capítulo se puede ver cómo se utilizan diferentes opciones de software para tal fin.

X. Conclusión

Teniendo en cuenta los procesos convectivos que se generan dentro de una nube convectiva, se hace necesario el constante monitoreo de las condiciones del tiempo actual y sobretodo las condiciones de nubosidad frente a las operaciones aéreas son de gran importancia y de cuidado a la hora de observación, ya que las turbulencias, las tormentas y demás fenómenos pueden llegar a afectar las operaciones.

Las metodologías que se vieron a lo largo de este trabajo son una manera viable y comprobable del procesamiento digital de imagen, que es en general una técnica que no solo se aplica a la superficie terrestre, también a la atmósfera. Las metodologías de brillos de temperatura son válidas y totalmente aplicables a las imágenes GOES-16 proporcionadas a la Aerocivil, esto resaltando el hecho que los satélites utilizados en los trabajos muchos de ellos tienen características similares (o iguales como el señor AHÍ del satélite HIMAWARI-8).

En los resultados obtenidos, los núcleos convectivos presentaron diferencias debido a los amplios rangos con las temperaturas, sin embargo, se hace una definición y una formación más definida de los topes nubosos con valores negativos para convección profunda, valores neutros para la altura de topes nubosos en la tropopausa y valores positivos para el sobre posición de la tropopausa por parte de las nubes convectivas.

Para una mejor delimitación de áreas de estudio y teniendo en cuenta que estos fenómenos convectivos son de una escala regional, se necesita conocer las condiciones generales, como las condiciones vistas en el trabajo teniendo en cuenta la tendencia bimodal de precipitación de Colombia. Solo conociendo el estado del tiempo de un aeródromo en específico, se hace un poco más complicado el seguimiento de actividad convectiva.

A medida que los sistemas de teledetección avanzan, así mismo ha venido avanzando las herramientas y los métodos capaces de observar la actividad convectiva, teniendo desde imágenes satelitales, modelos numéricos de predicción, datos de espectro radiómetros, radares y demás para ser llevados a procesamientos en máquinas de soporte vectorial, redes neuronales y herramientas inteligencia artificial en softwares como MatLab y lenguajes de programación como Python capaces de realizar procesos automatizados con alta

precisión para la detección de los fenómenos, esto con la finalidad de mejorar los pronósticos y la capacidad de las instituciones para proveer, en el caso del transporte aéreo, un servicio y una operación aérea con más calidad e información oportuna para todas las operaciones.

Además, como se pudo observar en las metodologías encontradas, la mayoría de ellas hacen uso de bandas del infrarrojo y del vapor de agua, complementado las caracterizaciones de la detección de nubes convectivas con bandas en el visible, lo que hace posible que cada vez más, se haga una delimitación más exacta de estos fenómenos haciendo uso de muestras de entrenamiento para la generación de productos y análisis detallados de los fenómenos atmosféricos.

Referencias

- Aerocivil. (15 de Marzo de 2018). Aerocivil.gov.co. (Aerocivil) Obtenido de [http://www.aerocivil.gov.co/cea/Programacion%20Academica/PLAN%20INSTITUCIONAL%20DE%20CAPACITACION%20Y%20OFERTA%20ACAD%3%89MICA%202018%20\(2\).pdf#search=pic%202018](http://www.aerocivil.gov.co/cea/Programacion%20Academica/PLAN%20INSTITUCIONAL%20DE%20CAPACITACION%20Y%20OFERTA%20ACAD%3%89MICA%202018%20(2).pdf#search=pic%202018)
- Astronoo. (1997-2013). Astronoo.com© - Astronomía, Astrofísica, Evolución y Ciencias de la Tierra. Recuperado el 03 de 10 de 2019, de <http://www.astronoo.com/es/articulos/orbita-geoestacionaria.html>
- Casas Castillo, M. C., & Alarcón Jordán, M. (1999). Meteorología y Clima. Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentals de teledetección espacial . Madrid: Ediciones Rialp S.A.
- Florez Zuluaga , J. A., & Vargas Bonilla , J. F. (2017). DETECTION OF CONVECTIVE CLOUDS USING METEOROLOGICAL DATA FUSION FOR AVIATION SAFETY SUPPORT. IEEE, 8.
- GOES R. (s.f.). Day Convection RGB. Recuperado el 11 de 11 de 2019, de http://rammb.cira.colostate.edu/training/visit/quick_guides/QuickGuide_GOESR_DayConvectionRGB_final.pdf
- GOES-R. (s.f.). GOES-R Misión. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019, de <https://www.goes-r.gov/mission/mission.html>
- Gómez Gómez , E. L. (2014). Modelamiento y simulación de un subred de enlace de datos en VHF (VDL), para el soporte de servicios de tránsito aéreo bajo el concepto CNS/ATM en Colombia. Bogotá.
- Gómez Gómez, E. L. (2014). Modelamiento y simulación de un subred de enlace de datos en VHF (VDL), para el soporte de servicios de tránsito aéreo bajo el concepto CNS/ATM en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia .
- Kim, M., Im, J., Park, H., Park , S., Lee, M.-I., & Ahn, M.-H. (2017). Detection of Tropical Overshooting Cloud Tops Using Himawari-8 imagery. Remote sensing, 19.
- Krawczyk, K., & Jasinski, J. (2014). Multispectral satellite data application to hazardous convection monitoring. The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING", 9.
- Mikus, P., & Mahovic, N. S. (2012). Satellite-based overshooting top detection methods and an analysis of correlated weather conditions. ELSEVIER, 13.
- Montoya Gaviria, G. d., & Eslava Ramirez, J. A. (2000). ANALISIS DE LAS CONDICIONES QUE FAVORECEN EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD CONVECTIVA DE LAS TORMENTAS ELECTRICAS EN LA SABANA DE BOGOTA. Geofisica Colombiana(4), 23-30.
- NASA. (2019). GOES-R Series DataBook. Maryland.
- NOAA. (2018). GOES R SERIES PRODUCT DEFINITION AND USERS' GUIDE (PUG) VOLUME 1: MAIN. Melbourne: HARRIS CORPORATION.
- NOAA. (2019). GOES-R SERIES PRODUCT DEFINITION AND USERS' GUIDE (PUG) VOLUME 5: LEVEL 2+ PRODUCTS. Melbourne.
- NOAA. (s.f.). National Centers for Environmental Information. Recuperado el 10 de 10 de 2019, de <https://www.ncei.noaa.gov/about>
- NOAA. (s.f de s.f de s.f). CLASS NOAA GOV. (NOAA) Recuperado el 11 de 11 de 2019, de <https://www.bou.class.noaa.gov/saa/products/welcome;jsessionid=9355D3028CD2FD7D3A74E9CE5F552409>

- NOAA-NASA. (s.f.). Abi Band 9 (6.9 um) Quick Guide. Recuperado el 02 de 10 de 2019, de http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/OCLOFactSheetPDFs/ABIQuickGuide_Band09.pdf
- NOAA-NASA. (s.f.). PRODUCTOS DE DATOS DE LA SERIE GOES-R. Recuperado el 11 de 11 de 2019, de <https://www.goes-r.gov/products/overview.html>
- OACI. (Julio de 2016). Anexo 3 al Convenio sobre la Aviación Civil Internacional Servicio meteorológico para la navegación aérea. Anexo 3 OACI. Montréal, Quebec, Canada: OACI Organización de Aviación Civil Internacional.
- OMM. (1993). OMM- 407 Atlas internacional de nubes (manual de observación de nubes y otros meteoros).
- OMM. (2009). Manual de claves-Claves internacional-Volumen I.1-OMM-Nº 306. Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial - OMM. (2008). OMM-No.8 Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Rillo, V., Zollo, A. L., Mercogliano, P., & Galdi, C. (2015). Detection and forecast of convective clouds using MSG data for aviation support. 5.
- Rodríguez, G. M. (2016-2017). Análisis bibliográfico del concepto Sistema convectivo de Mesoescala (SCM).
- Sierra Giraldo, I. T., & Pabón Caicedo, J. D. (2018). Análisis de tormentas eléctricas en el área de influencia del aeropuerto internacional de Eldorado con fines de pronóstico. Bogotá, Distrito Capital, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Tebbi, M., & Haddad, B. (2016). Artificial intelligence systems for rainy areas detection and convective cells delineation for the south shore of Mediterranean sea during day and night time using MSG satellite images. Atmospheric research, 57.
- TELEDET. (s.f.). TELEDET. Recuperado el 4 de 10 de 2019, de <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/satelites-resolucion-radiometrica.htm>
- UAEAC. (2013). RAC 203 servicio meteorológico para la navegación aérea .
- UAEAC. (08 de 2018). REGLAMENTOS AERONÁUTICOS DE COLOMBIA PARTE 203 SERVICIO METEOROLÓGICO PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA . RAC 203. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: UAEAC Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.
- UNIDATA. (s.f.). Software for Manipulating or Displaying NetCDF Data. Recuperado el 10 de 10 de 2019, de Software for Manipulating or Displaying NetCDF Data
- Universidad de Murcia. (s.f.). FOTOINTERPRETACION Y TELEDETECCION. Recuperado el 11 de 11 de 2019, de <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/>
- University Corporation for Atmospheric Research. (2016-2017). Introducción al GOES-R y conceptos de meteorología satelital- Bandas en el IR cercano . Recuperado el 01 de 10 de 2019, de https://www.meted.ucar.edu/satmet/satfc_g_course/nir_bands_es/navmenu.php?tab=1&page=3-0-0&type=flash
- University Corporation for Atmospheric Research . (2016-2017). Introducción al GOES-R y conceptos de meteorología satelital- Bandas IR excepto las de vapor de agua . Recuperado el 1 de 10 de 2019, de https://www.meted.ucar.edu/satmet/satfc_g_course/ir_bands_es/navmenu.php?tab=1&page=3-0-0&type=flash
- University Corporation for Atmospheric Research, UCAR. (2016-2017). Introducción al GOES-R y conceptos de meteorología satelital - Bandas en el visible e IR cercano . Recuperado el 24 de 09 de 2019, de https://www.meted.ucar.edu/satmet/satfc_g_course/vis_bands_es/navmenu.php?tab=1&page=3-0-0&type=flash
- University for Atmospheric Research . (s.f.). Introducción al GOES-R y conceptos de meteorología satelital- Bandas en el visible e IR cercano . Recuperado el 04 de 10 de 2019, de https://www.meted.ucar.edu/satmet/satfc_g_course/vis_bands_es/navmenu.php?tab=1&page=3-0-0&type=flash
- Velazquez Machain, J. (1999). SERVICIOS A LA NAVEGACIÓN EN EL ESPACIO AEREO MEXICANO-METEOROLOGÍA AERONÁUTICA I.




CAPITULO 6

IMPORTANCIA DE LA INTEGRACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN EN EL CONTEXTO EDUCATIVO Y EMPRESARIAL.

Como citar este Capítulo

Sánchez Calderón, Agredo Satizabal, & Palacios Rozo. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos Importancia de la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en el contexto educativo y empresarial. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCL. Bogotá D.C: Editorial ECCL.



Importancia de la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en el contexto educativo y empresarial

Ferley Augusto Sánchez Calderón ¹

Fredy Agredo Satizábal ²

Jairo Jamith Palacios Roza ³

Resumen

Desde inicios de los tiempos, el ser humano ha buscado y ha procurado fortalecer la intención de satisfacer sus necesidades a partir de la producción de bienes y servicios que le permitan; en tal grado, encontrar respuesta a cada una de las carencias que a través de los años ha venido encontrando para su desarrollo personal, familiar y social; la administración, las ciencias económicas y en general todas las ciencias, no han sido ajenas a ese proceso evolutivo, diferentes corrientes económicas y sociales, han permitido que el individuo dirija su conocimiento procurando establecer cómo obtiene los recursos necesarios para la subsistencia y la manera cómo los maneja para que sean suficientes para todos en un tiempo, espacio y momento determinado.

En los últimos años, con el auge de las tecnologías de la información y la comunicación, el hombre se ha tenido que enfrentar a una constante evolución de las posibilidades que tiene de acceder a diferentes medios y ha tenido que migrar a la experiencia de contar con múltiples herramientas necesarias para acceder a las cada vez más variadas opciones que el mercado ofrece, ahora, es básico aplicar dichas herramientas en los nuevos modelos de formulación de estrategias a nivel administrativo, económico, social, cultural, entre otras, en ese sentido; es pertinente reconocer algunos de los factores clave que han permitido la intervención de las tecnologías de la información y la comunicación en diferentes ciencias y en el desarrollo de la estructura económica y social del ser humano, reconociendo la integración de las mismas y su aplicación y aceptación en diferentes contextos permitiendo que día por día siga fortaleciendo el criterio profesional en la medida que el ser humano sea capaz de integrar elementos cotidianos con comportamientos que desde la historia han hecho que el hombre tenga un desenvolvimiento real en cualquier contexto de su vida, es por eso, que en este documento, encontraremos la

influencia y la evolución de las tecnologías de la información y la comunicación en el desarrollo y la estructura económica y social mediante su aplicación es diferentes ciencias para fortalecer los diferentes criterios de formalidad y evolución que han venido siendo integrados con el paso del tiempo y la mejor forma que ha encontrado el hombre de mantenerse a la vanguardia que le exige un mundo cada vez más preparado.

Palabras claves:

Tecnología, información, comunicación, evolución, estructura, social, económica, ciencias.

Abstract:

Since the beginning of time, human beings have sought and sought to strengthen their intention to satisfy their needs through the production of goods and services that allow them; to such a degree, find an answer to each of the deficiencies that over the years has been finding for their personal, family and social development; the administration, the economic sciences and in general all the sciences, have not been alien to that evolutionary process, different economic and social currents have allowed the individual to direct their knowledge trying to establish how it obtains the necessary resources for subsistence and the way he manages them so that they are enough for everyone in a given time, space and time.

In recent years, with the rise of information and communication technologies, man has had to face a constant evolution of the possibilities he has of accessing different media and has had to migrate to the experience of having multiple tools necessary to access the increasingly varied options that the market offers, now, it is basic to apply these tools in the new models of formulation of strategies at administrative, economic, social, cultural, among others, in that sense; It is pertinent to recognize some of the key factors that have allowed the intervention of information and communication technologies in different sciences and in the development of the economic and social structure of the human being, recognizing the integration of them and their application and acceptance in different contexts allowing day by day to continue strengthening the professional criterion to the extent that the human being is able to integrate everyday elements with behaviors that from history have made man have a real development in any context of his life, is for that, in this document, we will find the influence and evolution of information and communication technologies in the development and economic and social structure through its application is different sciences to strengthen the different criteria of formality and evolution that have been integrated with the passage of time and the best way has found the man to stay at the forefront that demands a world increasingly prepared.

Key Words:

Technology, information, communication, evolution, structure, economic, social, science.

¹ Administrador de empresas. Maestrando en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos Docente virtual y presencial de la Universidad ECCI, sanchez.ferley@ecc.edu.co - ORCID ID: 0000-0002-4244-0077

² Economista. Especialista en Innovación Docente Mediada por TIC y Maestrando en Gerencia de Tecnologías de la Información y Comunicaciones TIC. Docente investigador de la Universidad ECCI. Fredy Agredo Satizábal.

³ Ingeniero. Magister en educación. Profesor asistente en la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. jjpalacios@unicolmayor.edu.co - ORCID ID: 0000-0002-1437-9838

Introducción

Desde la época primitiva y con el nacimiento del hombre mismo, la humanidad ha visto la necesidad de organizarse de modo tal que pueda encontrar la manera más efectiva de proveer los recursos necesarios para la subsistencia y compartirlos con los demás integrantes de su familia o de su comunidad, en ese sentido, y retomando el comportamiento del hombre primitivo, el ser humano siempre ha manifestado la intención de encontrar la mejor alternativa para satisfacer sus necesidades; es así cómo surgen los primeros grupos y las primeras sociedades que identifican carencias comunitarias en un espacio y un tiempo determinados y se sirven de todo aquello que tienen con la posibilidad de acceso inmediato y convierten los productos de la agricultura, la pesca y la caza como las principales fuentes subsistencia a través de las cuales, con el paso del tiempo, logran implementar técnicas y herramientas para un mejor desempeño de las actividades en pro de satisfacer necesidades a partir de los recursos que el medio ambiente les provee de forma inmediata, posteriormente; se da paso a la producción no sólo de los artículos de primera necesidad, sino de consumo general, logrando que diferentes grupos de sociedades empiecen a identificar la capacidad que tienen de organizarse y producir uno o varios productos en específico, dando pie a la posibilidad de intercambiar con otras comunidades aquellos productos en los cuales no son especialistas pero de los cuales sí carecen y necesitan, por tanto; esas relaciones de producción, distribución, intercambio y consumo de mercancías; forman el todo único como para establecer la primera posibilidad de producción mercantil y de relaciones sociales de producción (Marx, 2010).

Con el labrado de la tierra y la necesidad de subsistir, se intentaba promover el desarrollo de técnicas que permitieran al hombre el acceso a los bienes y servicios que disponía el medio para el disfrute de aquel que lograra fortalecer la capacidad de extraerlos, las diferentes fuentes de ingresos cobraban importancia en la determinación de la capacidad humana para la producción y la forma como se encontraban las herramientas necesarias para controlar y disponer de todos estos elementos que la naturaleza le daba, en ese sentido, se podría analizar que el hombre recurría a las herramientas de las cuales disponía en cada época de su vida y las trabajaba de manera tal, que le era posible encontrar un uso específico para cada una de ellas.

Ahora bien, a medida que el hombre mismo evoluciona, viene encontrando diferentes criterios para evaluar y restablecer sus necesidades, busca la manera de encontrar otro tipo de estrategias que comparadas con la situación del momento, le permitan estar a la vanguardia de lo que la misma sociedad reclama, es decir, si en un principio sólo se contaba con herramientas básicas de mano, éstas eran utilizadas para la satisfacción de necesidades del momento; con el paso del tiempo, llega la necesidad de organizarse y asociarse en grupos

determinados con una figura jerárquica establecida que permita el desarrollo de las tecnologías existentes con el ánimo de mantener un criterio de igualdad y de justicia en la manera cómo se imparten las normas y se distribuyen los recursos.

Así pues, con el auge de la globalización y las nuevas herramientas con que se cuenta en la actualidad, la administración, la economía y diferentes ciencias, no son ajenas a este pragmático cambio evolutivo, encuentran en las tecnologías de la información y la comunicación una nueva posibilidad de reorganizar todos los criterios y todos los aspectos que para el hombre son favorables a fin de proveerse de recursos, organizarlos de cierta manera, distribuirlos y sacarles el máximo provecho en términos económicos, por tal motivo; reconocer que la integración de estos elementos en la forma como se consolida el proceso evolutivo y la estructura económica y social del ser humano y el crecimiento con el hombre mismo, permitiendo la incorporación en diferentes ciencias y disciplinas mediante la aplicación de las herramientas disponibles para su consolidación y desarrollo, reconociendo que la inserción de las tecnologías de la información y la comunicación permiten que diferentes ciencias logren mantener la comunicación y la caracterización de su comportamiento frente a las necesidades que satisface y permitiendo que el hombre evolucione en la manera cómo interactúa a nivel global para satisfacer sus necesidades mediante la manipulación de recursos disponibles con la integración de nuevas tecnologías que le mantienen a la vanguardia mundial, se hace necesario para establecer la importancia e influencia que tienen las tecnologías de la información y la comunicación en todos los contextos y en la consolidación de la estructura económica y social de la humanidad.

Fundamentación teórica:

La revolución de las tecnologías de la información y la comunicación en la globalización:

Hablar de globalización necesariamente implica tener que recurrir al uso de nuevas tecnologías que permitan a los diferentes grupos económicos y estructuras sociales mantener una intrínseca relación en los procesos evolutivos, económicos, administrativos, sociales, culturales, religiosos y políticos con el ánimo de interactuar en mercados que necesariamente requieren de un funcionamiento permanente y que permite mantener o suponer un cambio en las formas y los patrones de comportamiento del ser humano, de allí que; las tecnologías de la información y la comunicación se presentan como una herramienta básica y necesaria para responder de forma inmediata a esos cambios en esos patrones de comportamiento e interacción que surgen casi de forma espontánea; la constante búsqueda de la información y el aprovechamiento de las oportunidades de interacción entre diferentes grupos y todo un sin número de actividades en diferentes mercados, han hecho que estas herramientas sean vitales y necesarias de aplicar día tras día (Leyva, Morales y Heredia, 2015).

Uno de los factores que necesariamente requieren ser analizados cuando se habla de globalización, es la posibilidad que tienen los diferentes grupos conformados por el ser humano para interactuar y permitir el alcance y la cobertura en diversos contextos, llegar al mayor número de personas en el menor tiempo posible y generar una cobertura que mueva masas y que permita la interacción de múltiples factores de forma simultánea, en tal sentido, se deben generar conciencia en el hecho de que la globalización es la opción que se tiene para eliminar fronteras y reducir las distancias anulando todo efecto imperante en los bloqueos de tiempo y espacio, así como las divisiones territoriales y permitiendo que estos factores se vislumbran en una nueva especie de reorganización de las relaciones mundiales (Giddens, 2001).

La globalización ha traído en sí misma la posibilidad de interacción simultánea de varios grupos a nivel mundial, ya no existen limitantes de tiempo, de espacio o de territorio para que diferentes comunidades interactúen e impartan su conocimiento, su saber, sus experiencias, sus vivencias y todos aquellos factores que sean determinantes para la comprensión de la evolución y la interacción del ser humano, antes, nos encontrábamos con la limitante de no saber y no poder reconocer las formas de ser, de existir, de pensar y de vivir de múltiples grupos que se organizaban en diferentes partes del territorio mundial, ahora; con la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en todas los contextos sociales, es fácil reconocer el cómo, el porqué, el dónde, el cuándo y el qué de cada individuo, de cada grupo, de cada organización, de cada empresa, el ser humano ha encontrado en este momento la posibilidad de relacionarse y comunicarse mediante herramientas que reducen al mínimo de su expresión cualquiera obstáculo imperante en la posibilidad de restringir ideas, y se abre y se consolida la posibilidad estratégica del uso de la información y del conocimiento con la alternativa y el argumento de que a partir de ellas se puede garantizar de cierta forma el éxito de procesos tales como la planificación, organización y desarrollo de diferentes instituciones y negocios a nivel mundial (Druker, 1994).

Partiendo del hecho que supone y que considera la utilización de las diferentes tecnologías de información y comunicación que se encuentran a disposición en la actualidad, se establece y se considera entonces, que la ruptura de tales fronteras físicas y psicológicas que el ser humano habían establecido hasta antes de que la globalización impactará en sus vidas, es la alternativa que se tiene en el incremento de la relación social que facilita los procesos de información y comunicación con el ánimo de ampliar y extender no sólo las relaciones personales y sociales; sino las posibilidades de extender el conocimiento a fin de satisfacer necesidades de los miembros de cada uno de los grupos que intervienen en cualquier proceso de interacción social y global a partir del constante uso de este tipo de tecnologías (Baelo y Canton, 2009), en ese sentido, se facilita la consideración que el uso de tecnologías de la información y la comunicación puede aportar múltiples ventajas al desarrollo y con-

solidación de la estructura económica y social de la humanidad, con la posibilidad que se tiene de acceder al mayor y mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y la facilidad para realizar múltiples tareas y trabajos sin que exista el criterio de presencialidad para el desarrollo de los mismos, existen mayores motivaciones e intereses por desarrollar estrategias que permitan al ser humano intercambiar conocimientos y diferentes aspectos de su multiculturalidad y desarrollar múltiples tareas en pro de satisfacer sus cada vez más insaciables necesidades.

Es necesario también reconocer que de cierta manera, el uso de las tecnologías de la información y la comunicación y el impacto que han tenido con la globalización, puede presentar y significar algunas desventajas durante su aplicación, como el hecho de la pérdida de la formalidad, pues el ser humano está acostumbrado a la presencialidad para ejecutar y llevar a cabo cualquier tipo de transacción no solo comercial; sino social y cultural para el reconocimiento de la potestad que éstas tienen cuando se implementan, sin embargo; y es válido recalcar, son más las ventajas que se tienen con el uso de estas estrategias que las posibles desventajas, el ser humano tiene que ir aprendiendo, cómo lo hizo desde la época primitiva; a reorganizar y reestructurar las múltiples posibilidades que se le abren y los diferentes espectros a que tiene acceso con el uso de tecnologías de la información y la comunicación, siempre con el ánimo de procurar su evolución, su crecimiento estratégico y su posibilidad de subsistir mientras llegan nuevas corrientes y alternativas que le obliguen a evolucionar y a ejecutar esas nuevas estrategias para mantenerse a la vanguardia de las corrientes que surgen en el mundo día tras día.

La globalización entonces, ha permitido no solo que el ser humano interactúe con los demás miembros de su entorno inmediato, sino, que se traspasen fronteras y pueda llegar a diversos lugares, que encuentre en otros territorios, múltiples oportunidades de ser y existir, por eso; el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en un mundo globalizado se convierten en una de las estrategias más importantes y necesarias a tener en cuenta y a utilizar si se quiere mantener y acrecentar la posibilidad de llegar a todos los rincones del mundo, se convierte también, en la posibilidad que tienen los hombres, las empresas y las sociedades de darse a conocer, de mostrar eso que los mueve, eso que los involucra y los motiva, eso que les hace sentir y cómo pueden colaborarle al mundo entero en la satisfacción de necesidades, ya no es válido reconocer la individualidad y trabajar y esforzarse por la singularidad, por la consecución de objetivos propios únicamente, ya no es válido ser estático y quedarse quieto, ya no es necesario mantenerse en un mismo lugar, y, aunque físicamente se mantenga tal criterio, las tecnologías de la información y la comunicación permiten ir más allá, estar cada día más a la vanguardia, estar cada momento más prestos a responder múltiples interrogantes, a solucionar múltiples problemas y a trascender con el paso del tiempo, a no conformarse con estar de cuerpo presente; pero sí con la integralidad que

permite la comunicación en tiempo real, las tecnologías de la información y la comunicación bien utilizadas permiten llegar a los confines del mundo y atender necesidades propias y colectivas no sólo de nuestra raza y de nuestro grupo, sino de otros que, más allá de las fronteras, están esperando una respuesta para una necesidad específica y están dispuestos a interactuar e intercambiar lo que son, lo que hacen, lo que saben.

Las tecnologías de la información y la comunicación y su aplicación en el contexto educativo:

El uso de las tecnologías de la información y la comunicación se han convertido en una estrategia necesaria en diferentes escenarios del ser humano, variadas técnicas y estrategias aplicables en cualquier contexto vivencial incrementan la posibilidad de interacción y comunicación de la humanidad, para el hombre, permitirse el uso de estos elementos, favorece; de cierta manera, la posibilidad que se tiene de acceder a la comunicación en tiempo real, la utilización de nuevas plataformas más accesibles para el desarrollo de múltiples tareas en la cotidianidad, favoreciendo la ampliación de uno de las atmósferas en donde más se aplica el uso de las nuevas tecnologías como lo es la ejecución de los eventos en donde puede recaer el acceso a la educación mediante el uso de estas plataformas, lo que ha contribuido con el auge de nuevas disposiciones; a facilitar la interacción entre estudiantes y profesores en los procesos de enseñanza-aprendizaje que cada vez son más específicos.

Al integrar una de las ventajas que tiene la globalización en el rompimiento de las fronteras físicas y la posibilidad que se tiene de conocer y compartir conocimientos y saberes entre diferentes comunidades y agrupaciones sociales, el ser humano media y fortalece la forma en que accede al conocimiento, está pues, dispuesto a reconocer que el tema del aprendizaje y la educación es un contexto que no es ajeno a esta alternativa de utilización de nuevas herramientas que permitan compartir, explorar y aplicar las capacidades potenciales que tiene el uso y aprovechamiento de herramientas como internet y la intención de hacerlo al máximo, ha abierto la posibilidad de aceptar que las tecnologías de la información y la comunicación cada vez son de más fácil acceso, son más amigables con el docente y el estudiante y cada día contribuyen más con los procesos de adaptación para todos los modelos educativos, las centros de educación en donde se incorporan computadores y otras estrategias y plataformas propias de las tecnologías de la información y la comunicación, hacen que el estudiante y el profesor mismo desarrollen habilidades y destrezas para que la relación de enseñanza-aprendizaje se fomente en las posibilidades de discriminación, construcción, simulación y comprobación de hipótesis y de más conocimiento que se llegue a obtener (Darias, 2001)

Los ambientes de aprendizaje y espacios tecnológicos que se empiezan a desarrollar con

el uso de las tecnologías de la información y la comunicación cada día prometen ser más eficaces y permiten favorecer a la comodidad que accede a ellos, prometen motivar al estudiante a encontrar la posibilidad de manejar su tiempo, su espacio y las condiciones que le permiten acceder al conocimiento, por otra parte; para aquellos que están dando sus inicios en el reconocimiento y participación de los modelos de aprendizaje en estos nuevos ambientes, puede que sea una situación preocupante por la novedad que esto representa, sin embargo; se hace necesario reflexionar en la posibilidad que tienen estos ambientes de aprendizaje de ser activos, responsables, constructivos y sobre todo; de contextualizar al estudiante en el manejo de la información de carácter personal y donde ellos pueden interactuar con base en la necesidad que tienen de adquirir conocimiento y aprovechar todas las ventajas que se tienen con el uso de estas nuevas herramientas y el acceso a la información y al conocimiento, para los profesores, también se abre la posibilidad de interacción multidireccional, lo que permite la construcción de aprendizajes de manera colaborativa e incentivando el interés, la motivación y la construcción o discusión de diferentes herramientas comunicativas como lo puede ser el uso del correo electrónico, videoconferencias y demás alternativas que incentivan la comunicación de los dos actores en el proceso de enseñanza-aprendizajes (Márquez, 2002).

En los contextos virtuales ofrecidos por las tecnologías de la información y la comunicación actuales, las nuevas plataformas en donde se imparte el conocimiento, convierte el ambiente en una posibilidad de interacción diferente a la que se vive en el aula presencial y logra que haya un cambio bastante significativo en la forma como estudiantes y profesores intercambian saberes, generando un gran significado de formación en sus experiencias (Garza, 2001), y es que el intercambio de diferentes modalidades de aprehensión del conocimiento se viene fortaleciendo con la posibilidad que se tiene de interactuar en otros escenarios distintos a los ya conocidos anteriormente y a los que se manejaban antes de las nuevas modalidades de acceso al conocimiento.

Todas estas herramientas están dispuestas de manera tal, que sólo aquel que quiere ampliar sus expectativas e incentivar el hecho de acceder y gestionar desde su individualidad el conocimiento, tiene abiertas las posibilidades para encontrar en las tecnologías de la información y la comunicación; nuevos espacios con nuevas posibilidades de acceder a múltiples experiencias, intercambiar con personas de otros países, de otras culturas, de otras creencias, de otras corrientes y favorecer el intercambio del conocimiento desde la necesidad propia del ser humano cuando éste se siente capaz o es consciente que acceder a este tipo de plataformas únicamente le permitirá a él ese crecimiento que busca cuando se manifiesta ávido de conocimiento, de las necesidades de acceder a nuevas herramientas que le permitan incrementar sus saberes, es decir; en este sentido, las tecnologías de la información la comunicación abren la puerta y siguen ampliando el panorama y el camino para encontrar

más alternativas para aprender, continúan derribando fronteras físicas y de cualquier tipo, en donde antes era necesario llegar de manera oportuna a la hora de clases para la impartición del conocimiento, ahora todo está dado para que el estudiante rompa las barreras de espacio y del tiempo, entre otras, para acceder al conocimiento y poder encontrar lo que necesita, lo que desea y digerirlo a su propio ritmo y velocidad, conforme a su necesidad.

La educación entonces, es uno de los contextos en donde más importancia a cobrado el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, ya no es necesario que sea el profesor quien imparta el conocimiento de memoria, dichas herramientas se han convertido últimamente en un elemento adicional para el acceso al conocimiento; el profesor adopta el papel de ser quien explica y aclara dudas e inconvenientes específicos luego de que el estudiante, inquieto por el conocimiento, ya ha hecho el recorrido y la indagación por los diferentes conceptos que quiere aclarar, en ese sentido; el uso de tecnologías y herramientas de la información y la comunicación hacen que el estudiante recurra a nuevas modalidades de acceder al conocimiento, y, si alguno de ellos se interesa puntualmente por qué conceptos quiere aclarar, permite que el profesor se convierta en un elemento adicional que aclara dudas y direcciona de la mejor forma, cómo aquel estudiante debe capacitarse, explica los contenidos y argumenta sobre los conceptos que requieren de un refuerzo o de una opinión explicativa, así pues, generación tras generación, el ser humano va encontrando cuáles de las herramientas y tecnologías de la información y la comunicación disponibles se convierten en posibilidades básicas y adicionales para ser utilizadas como vehículo en la impartición del conocimiento.

Integrar las tecnologías de la comunicación y la información en los contextos educativos facilita las posibilidades de ampliar el espectro del conocimiento y permite que la interacción del individuo sea constante y ampliada, aquel que recurre a estas herramientas para fortalecer su capacidad de acceso al conocimiento, logra encontrar múltiples posibilidades y alternativas, múltiples caminos de llegar a una respuesta, múltiples escenarios para entender diferentes contextos situacionales y permite que el profesor también promueva múltiples herramientas de indagación y de impartición de conceptos, para que así; se fomente la inquietante necesidad de conocer, de saber, de entender y de recurrir cada vez más a grandes modelos y estructuras que permitan la aclaración de dudas y el fortalecimiento de la integración conceptual, es una herramienta en constante crecimiento que favorece y facilita variados criterios de interacción para que el estudiante cada vez encuentre más y mejores alternativas para satisfacer su necesidad de saber, entender y aprender.

Las tecnologías de la información y la comunicación y su influencia en el contexto empresarial:

En el contexto empresarial, la implementación de tecnologías de la información y la comunicación ha cobrado suma importancia, más, cuando se habla de integración de la posibilidad de encontrar y potencializar la especialización en la ciencia misma, pues para las compañías es necesario llegar al mayor número de clientes en el menor tiempo posible y generar atributos de confiabilidad en la medida que se incrementan los procesos de competitividad y se permiten entrar en el juego de cobertura y masificación de la información para alcanzar al máximo grupo de posibles clientes (MacFarlan, 1985).

Varios estudios han permitido entender y consolidar la relación que tiene el hecho el uso de las tecnologías de la información y la comunicación como uno de los factores que define la competitividad de los negocios nuevos y de las empresas que ya están consolidadas en el mercado, en la medida que puedan migrar al uso de estas herramientas; especialmente cuando en las empresas se estructuran estrategias de productividad con relación a la disminución de los costos, las tecnologías de la información y la comunicación permiten garantizar que la sociedad sea cada vez más ecuánime y se incremente su nivel de producción en la medida que es capaz de disminuir las brechas digitales, esto le permite al ser humano alcanzar resultados cada vez más importantes toda vez que las empresas están en la capacidad de acceder a plataformas virtuales, internet y demás elementos que facilitan y tecnifican la mano de obra que poseen realmente (Barragán, 2002).

Contar con las herramientas de tecnologías de información y comunicación a nivel empresarial no sólo puede garantizar el incremento de la productividad al interior de las empresas ya que se puede fortalecer la mejora de los procesos que se están desempeñando, sino que, la creación de valores adicionales para los clientes y empleados dentro de la organización, así como para los demás stakeholders, favorece que las empresas se lancen a la carrera de competir entre ellas mismas y sólo aquellas que manejen o desarrollen las mejores herramientas y estrategias en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, lograrán incrementar una ventaja competitiva frente a las demás (Slywotzky y Morrison 2001), asimismo, el avance tecnológico al que se ha enfrentado la humanidad en las últimas décadas, se considera como la verdadera oportunidad de crecimiento económico de las sociedades, tomando como pie de fuerza el cambio organizacional y el desarrollo de nuevos patrones y factores a nivel empresarial como apoyo para todas aquellas empresas que buscan algún beneficio al incrementar el uso y aplicación de herramientas tecnológicas (Nelson, 1991), este cambio, se convierte en la guía para que diferentes organizaciones a nivel mundial desarrollen nuevas infraestructuras de cara al crecimiento en los sectores industriales, así como en la creación y potencialización de nuevas empresas con plataformas tecnológicas que faciliten la obtención, la producción y el desarrollo del trabajo, muchas de las empresas hoy en día implementaron cambios sustanciales que les han permitido mantenerse y encontrar nuevas oportunidades de negocio; no sólo en los escenarios locales donde estaban acostumbrados

a desempeñarse, sino, en nuevos mercados globales, les permite aumentar la trascendencia y la integración con diferentes posibles clientes en otras regiones del mundo (Porter, 1999), lo que le permite a las empresas, simultáneamente, considerar de forma imperante la contribución que hace el desarrollo de las estructuras y tecnologías de la información y la comunicación en el desarrollo de sus estrategias de negocio, a tal punto; que estas nuevas herramientas, una vez aplicadas, se convierten en la oportunidad que tienen las empresas para incrementar en niveles de desarrollo, crecimiento, expansión, diversificación y ampliación de las opciones de respuesta para la satisfacción de necesidades por parte de los clientes específicos de cada una de ellas (Czuchry, Yasin y Sallman, 2004).

Las diferentes estructuras económicas y sociales a que se está enfrentando la humanidad actualmente y el estudio y reconocimiento de la importancia que tienen las tecnologías de la información y la comunicación en el auge de los nuevos contextos en las que interviene el ser humano, le han permitido reconocer el papel fundamental que tienen el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en los nuevos negocios y en las empresas ya consolidadas, pues, quienes se niegan a la posibilidad de implementar las mismas, están reconociendo la facilidad que tienen para quedarse rezagados con respecto a las empresas y a las organizaciones que sí ven en estas estrategias de comunicación e interacción a nivel global; una de las posibilidades de crecimiento, de diversificación de productos y de reconocimiento de expansión, el hecho de no utilizarlas, puede considerarse como una limitante para el crecimiento de empresarial, lo que hace que los ingresos también se vean desfavorecidos, pues la tecnificación de la mano de obra, así como la industrialización de los procesos, basados en el uso de este tipo de herramientas; permiten la aceleración de la producción y favorecen la expansión de la empresa para que se alcancen las fronteras y se traspasen las mismas a través de ellas, llegando a más clientes y permitiendo que cada uno de los negocios tenga un reconocimiento generalizado a nivel mundial.

Actualmente, las organizaciones se caracterizan por estar inmersos en una dinámica funcional donde ellas se interesan por competir en un entorno cada vez más dinámico y complejo, es necesario encontrar elementos claves para incrementar y ofrecer un mayor valor o uno diferencial a nivel interno de la organización, (Eisenhardt y Martín, 2000), gracias a esta necesidad, se detecta que las empresas deben direccionar sus esfuerzos a la constante oportunidad de dar un valor agregado y un valor determinante en la manera como prestan sus servicios y ofrecen sus productos, con la dinámica nueva que viene determinada por el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, las organizaciones se permiten a sí mismas crear un poco más de este valor y generar conocimiento y multiplicidad de recursos dentro de ellas mismas, (Pérez y Dressler, 2007), a medida que las organizaciones están presas a implementar y desarrollar las tecnologías de la información y la comunicación, se les facilita el acceso a las fuentes de información interna y de conocimiento de sí mismas, por

tanto, el uso de las tecnologías de la información y la comunicación permitirá que el criterio de competitividad mediante el desarrollo de estrategias y alternativas mucho más flexibles y dinámicas esenciales de funcionamiento, se conviertan en el punto de partida de cara a la competitividad frente a otras organizaciones que quizás le restan importancia al uso de ellas.

Varios enfoques de las teorías económicas se analizan con la finalidad de descubrir el aporte que las tecnologías de la información y la comunicación tienen en el contexto empresarial, siendo estos factores importantes de analizar en la estructura organizativa e incluyendo aspectos de dinamismo y formulación de estrategias que les permiten transmitir y dar a conocer la manera como vienen trabajando y nuevos recursos para incrementar, no solo las ventas, sino la productividad y todos los factores a nivel interno, que hacen que las organizaciones vean en las tecnologías de la información y comunicación, elementos claves para fortalecer su estructura y contribuir cada vez más en el crecimiento de ellas mismas.

Las tecnologías de la información y la comunicación permiten que la información llegue a los usuarios de forma sistemática y que se establezcan según las necesidades para permear con ese carácter interactivo que las caracteriza, en ese contexto, se monitorea la información y la dispersión de la misma con el ánimo de minimizar los errores, encontrar las posibles falencias y determinar la manera más óptima de trabajar, no sólo en pro del beneficio de la organización, sino de los stakeholders que están prestos a ver cómo la organización recurre a la aplicación y uso de las herramientas y elementos que tenga a disposición para potencializar sus actividades, este tipo de herramientas, gestionan funciones administrativas y organizacionales que permiten incrementar en producción, competitividad, desarrollo, acercamiento y relación de nuevas ideas para que el interés incremente no solo en competir sino favorecer la operatividad a nivel interno y que lo hagan con las elementos disponibles en el entorno de la forma más adecuada, y que, cada vez, se fortalezca el circuito de capacitación y evolución que son necesarios entre todos los juicios institucionales.

Finalmente, es preciso decir que la combinación de diferentes fuentes del conocimiento aplicadas al uso estratégico de las tecnologías de la información y la comunicación, permitirán el crecimiento contextual de las estrategias implementadas por la organización, la socialización de las mismas, manteniendo el recurso que tienen dentro de los procesos y su desarrollo de forma simultánea y consecuente estableciendo en el trabajo un marco conceptual que permite analizarlas bajo los resultados de su aplicación en las organizaciones, se convierte en el punto de partida para entender la importancia de la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en el contexto empresarial..

Conclusión:

El ser humano siempre ha encontrado la forma de responder a sus necesidades y satisfacerlas de acuerdo a la posibilidad que tiene de utilizar los recursos con que cuenta en un momento determinado y de modo tal que, en un inicio, se sienta conforme con la manera en que logra su cometido, sin embargo; siempre deja para sí, la oportunidad de poder plantear y encontrar otro tipo de estrategias que no sólo satisfagan la necesidad, sino que, cierren la brecha de cualificación de cara a hacerlo de manera interesante, se pone como reto a sí mismo, mantenerse a la vanguardia de lo que el mundo le pide, siendo el mundo no otra cosa más que otro grupo de personas en cualquier otro espacio territorial procurando y buscando la manera de ser mejores.

El hombre busca la manera de igualar y superar todo conocimiento, todo modo de operación que se tiene y quiere mejorarlo, con el paso del tiempo ya no solo es suficiente satisfacer una necesidad, cada vez el hombre quiere ser más eficiente, quizás siempre tenga las mismas necesidades, pero establece nuevas formas, nuevos modelos, nuevos argumentos y nuevos recursos para responder a ella oportuna, práctica, rápida y dinámica para asimilar una oportunidad de ser mejor cada día, desde que el término globalización empezó a hacer parte del léxico el ser humano, las fronteras terrestres y las fronteras físicas se han derribado, generando una ventaja cuando se habla de intercambio e intención de transculturación entre los pueblos, es un beneficio que está dado para que el ser humano logre encontrar modos de conocer y de llegar a todos los rincones del mundo, las tecnologías de la información y la comunicación están a la disposición para que el hombre cuente con ellas y les dé su mejor uso, su mejor versión y su mejor aplicación cada que lo necesite en el contexto que así lo requiera, no sólo para responder a necesidades, sino para establecer criterios de confianza que le permitan favorecer su crecimiento personal, social, cultural, económico, político, religioso, sexual y de toda índole que considere necesario, lo cual; favorece el reconocimiento de la diversidad, de la interculturalidad y favorece el hecho de contar con diferentes modos de pensar, de actuar y de analizar las cosas.

La posibilidad de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación establecen la oportunidad para el hombre de siempre tenerlas disponibles para ser utilizadas de la mejor forma, para que la reinvente, para que las modifique, para que postule más y mejores perspectivas de ser, de lograr y de alcanzar aquello que se propone; aquello que necesita, aquello en lo cual quiere evolucionar, aquello en lo cual quiere innovar; el buen manejo y la aceptación de estas tecnologías de la información y la comunicación, permitirán que el hombre evolucione cada día más, que encuentre una mejor versión de sí mismo y que quiera seguir avanzando en el sentido de reorientar y reorganizar lo que busca del si mismo para beneficio propio y de la comunidad.

Bibliografía.

Baelo, R., y Cantón, I. (2009). Las tecnologías de la información y la comunicación en la educación superior. Estudio descriptivo y de revisión. *Revista Iberoamericana de Educación. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura*, 50(7), 1-12

Barragán, J. (2002). *Administración de las pequeñas y medianas empresas, retos y problemas ante la nueva economía global*. México: McGraw Hill.

Czuchry, Yasin & Sallmann (2004). An Applied e-business approach for reinsurance services. *Marketing Intelligence & Planning*, 22 (6-7), 716.

Darias V., (2001) *La Tecnología en la escuela venezolana*. Candidus Año 3 (16) 19-20 Valencia Venezuela.

Druker, P. (1994). *La Sociedad Post- Capitalista*. Norma.

Eisenhardt, Kathleen y Martin, Jeffrey (2000). "Dynamic capabilities: what are they?" *Strategic Management Journal*. Vol. 21. United Kingdom. Pp. 1105-1121.

Garza, R. (2001). Diseño de ambientes electrónicos de aprendizaje. *Revista EGE. Número 4, año 2*. Monterrey: Escuela de Graduados en Educación. Universidad Virtual ITESM.

Giddens, A. (2001). *Medios de Comunicación y cultura popular*. Sociología. 3ra. Edición. Madrid, España. Alianza

Leyva, B.; Morales, M. y Heredia, J. (2015). Las redes sociales como una alternativa para mejorar la productividad y competitividad de la empresa. *Invurnus*, 10(1), 3-11.

MacFarlan, F. W. (1985). La tecnología de la información cambia el modo de competir. *Harvard Deusto Business Review*, 22, 43-50.

Marqués, P., (1999). *Diseño Y Educación De Programas Educativos Disponible En <http://www.xtec.es/pmarques/edusoft.htm>*. [consultado julio 10, 2002].

Marx, C. (2010): *El Capital, t. I*, R. B. Heredia (trad.), Biblioteca de Autores Socialistas, Universidad de La Habana.

Nelson, R. (1991). The role of firm differences in an evolutionary theory of technical advance. *Science and public policy*, 18 (6), 347-352.

Pérez, Daniel y Dressler, Michael (2007). "Tecnologías de la información para la gestión del conocimiento". *Intangible Capital*. Vol. 3. Madrid. España. Pp. 31 -39

Porter, M. (1999). *Ventaja Competitiva (18a reimp.)*. México: Grupo Patria Cultural.

Slywotzky, A. & Morrison, D. (2001). Becoming a digital business: it's not about technology. *Strategy & Leadership*, 29, 4.



CAPITULO 7

ESTRATEGIAS DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN EN EL CENTRO DE ESTUDIOS AERONÁUTICOS (CEA)

Una apuesta académica para forjar una cultura de la investigación

Como citar esta Sección I.

García Chitiva (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos Estrategias de formación en investigación en el Centro de Estudios Aeronáuticos (CEA). Una apuesta académica para forjar una cultura de la investigación. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.

ESTRATEGIAS DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN EN EL CENTRO DE ESTUDIOS AERONÁUTICOS (CEA).

Una apuesta académica para forjar una cultura de la investigación

María del Pilar García-Chitiva ¹

Resumen

La formación en investigación tiene altas implicaciones para la dinamización de los procesos académicos y de calidad de una Institución de Educación Superior. Diseñar y ejecutar estrategias que faciliten y cimenten el desarrollo de la cultura de la investigación, favorece los procesos personales cognitivos de los estudiantes y permite que a corto, mediano y largo plazo se den los frutos esperados que permitan que las instituciones, sus programas y grupos puedan ascender en los niveles (nacionales e internacionales) de reconocimiento en investigación y, a su vez, se avance en los procesos de investigación en el área. En este capítulo documenta la experiencia de investigación formativa que se ha venido desarrollando en el Centro de Estudios Aeronáuticos CEA y se presenta el detalle de las estrategias diseñadas para fomentar la investigación en la institución.

Palabras claves:

Investigación formativa, investigación aeronáutica, formación en investigación, cultura de investigación, estrategias

Introducción

En los últimos años, la investigación académica en el país ha sido un punto de interés importante para las instituciones en las que se forman profesionales de diferentes disciplinas. Forjar una cultura de la investigación es un reto para poder consolidar los procesos en esta área (Lobatón, 2015), ya que, si bien la investigación es una de las funciones sustantivas en la educación superior, no todos los docentes y formadores tienen desarrolladas las habilidades y conocimientos de investigación. La consolidación de una cultura de la investigación implica la generación de conocimiento (investigación aplicada) y la comunicación y gestión del mismo el proceso de formación (investigación formativa). La investigación formativa o

¹ Candidata a Doctora en Educación, Magister en Educación Docente Investigadora Centro de Estudios Aeronáuticos CEA ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6776-3422>

formación en investigación, asume la investigación como eje vertebral de los procesos de enseñanza - aprendizaje (Miyahira, 2009) y se caracteriza por ser dirigida y orientada por un profesor como experto en investigación y los estudiantes como aprendices.

Específicamente en Colombia, se empezó a hablar de investigación formativa o formación en investigación finalizando la primera década del siglo XX, bajo la comprensión de que en ese proceso se vinculan estudiantes y docentes (Viteri & Vázquez, 2016), en el marco del proceso de formación profesional, lo que dinamiza la relación entre práctica y teoría en la construcción de conocimiento durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, pues se pretende que el estudiante “recorra el camino de la investigación educativa mediante una praxis continua y sistemática, y así, dar cumplimiento a objetivos de aprendizaje centrados en el estudiante”(Velandia-Mesa, Serrano-Pastor, & Martínez-Segura, 2017).

Al respecto de la formación de la investigación o investigación formativa, Valencia, Macias, & Valencia (2015) plantean que existe una diferencia entre la formación en investigación y la capacitación en investigación. La primera, se comprende como una estrategia pedagógica para formar a los estudiantes en habilidades de investigación, orientados a su formación profesional que permite fortalecer una cultura en ese sentido (Palomar, 2013). Por su parte, la segunda, alude a la actualización en habilidades más avanzadas a las que ya se poseen, en personas que ya desarrollan procesos de investigación. Desde otra perspectiva sobre la investigación formativa, Rubio, Baños, & Berlanga (2015) la definen como una modalidad de enseñanza-aprendizaje que favorece el paradigma metodológico. En esencia, para forjar y fortalecer una cultura de la investigación es fundamental formar en investigación y capacitar en investigación.

Ahondando en conceptualizaciones más profundas sobre los procesos de investigación formativa o formación en investigación, Jiménez (2003) plantea que llevar a cabo este tipo de formación fortalece y favorece procesos cognitivos de orden superior, en tanto las tareas y actividades propias de aprendizajes de esta naturaleza, tales como la formulación de preguntas de investigación, proponer hipótesis, planear experimentos, sacar conclusiones, indagar, argumentar, tomar decisiones y realizar elaboraciones con posturas críticas, entre otras, es decir, que desarrollar de manera intencionada y estructurada y planeada procesos de investigación formativa al interior de las instituciones aporta al desarrollo individual de los estudiantes, además de incrementar los procesos de calidad de los programas de formación (Cortés, Norman, & Ortiz, 2019).

Al respecto, el Centro de Estudios Aeronáuticos CEA ha venido adelantando un proceso de formación en investigación estructurada e intencionada, en la búsqueda de forjar una cultura de la investigación que genere avances a corto, mediano y largo plazo. Aún cuando el

carácter de Institución de Educación Superior - IES es reciente (CEA, 2019), se han venido adelantado estrategias de formación en investigación que buscan alfabetizar a estudiantes, docentes y funcionarios en términos de investigación académica. Estas prácticas posibilitan el ascenso como institución en procesos de calidad educativa, ya que la investigación es considerada uno de los aspectos a considerar en dichos procesos (Daher, Panunzio, Hernández, & Navarrete, 2018) y en un mediano y corto plazo, en los ranking de Colciencias a partir de la generación de productos de investigación derivados de proyectos de investigación propuestos por participantes (docentes, estudiantes) en los procesos de Investigación formativa.

Por consiguiente, dado el reciente reconocimiento obtenido por el CEA como Institución de Educación Superior otorgado por el Ministerio de Educación Nacional, este capítulo tiene como objetivo dar a conocer la experiencia de formación en investigación que se ha desarrollado en el Centro de Estudios Aeronáuticos CEA, con el fin de ilustrar los avances que se han obtenido en el proceso de investigación formativa. Por lo tanto, el capítulo se estructura en cinco apartados. En primer lugar, se presentan los antecedentes de la investigación en el CEA. Seguidamente, se da a conocer la propuesta que se diseñó para forjar una cultura de la investigación; posteriormente, se presenta la estrategia para formar en investigación en el CEA; a continuación se muestran las tendencias de ideas de investigación que se han abordado como producto durante el desarrollo de las estrategias de formación en investigación y, finalmente, en el último apartado, se realiza un análisis del proceso y se presentan las proyecciones de la formación en investigación en el CEA.

Contexto de surgimiento de la propuesta de formación en investigación

El Centro de Estudios Aeronáuticos CEA hace parte del grupo reducido de instituciones del país dedicadas a la capacitación de personal en el sector aeronáutico desde hace más de medio siglo. A partir del año 2018 en CEA cambió el carácter de Centro de Instrucción Aero-náutica a Institución de Educación Superior (Resolución 2909/Ministerio de Educación Nacional, 2016) Este hecho permitió que CEA diera mayor desarrollo y amplitud al funcionamiento de las funciones sustantivas de la Educación superior, dentro de ellas la de Investigación, liderada por el Grupo de Investigación Académica (Administrativo).

Las actividades que el grupo de investigación desarrolla, se enmarcan en el fomento y desarrollo de proyectos de investigación académica (investigación aplicada) y el proceso de formación en investigación dirigido a la comunidad aeronáutica y académica de la institución y de la Aeronáutica Civil.

Dado el reciente proceso de desarrollo de investigación académica, se han priorizado acciones que apuntan a la generación y consolidación de una cultura de la investigación a

partir de estrategias pedagógicas enmarcadas en la investigación formativa, entre ellas charlas de expertos, participación en eventos académicos con estudiantes de los cursos básicos y cursos de formación en investigación.

Aproximaciones iniciales: forjando una cultura de la investigación en el CEA

Los primeros pasos

Desde la creación del grupo de investigación se han generado alternativas no solo para visibilizar la investigación en el CEA, sino para edificar una cultura de la investigación que permee el trabajo de los docentes y los procesos de formación de los estudiantes. Uno de esos primeros caminos asumidos tuvo que ver con la configuración de una “Ruta para fortalecer los procesos de investigación” dirigida principalmente a los docentes del Cea y funcionarios de la Aerocivil interesados en vincularse a través de la formulación de proyectos de investigación como investigadores principales o coinvestigadores.

La Ruta para fortalecer los procesos de investigación (figura 1) fue planteada en tres etapas o momentos, tal como se expresa en los siguiente numerales y bajo la convicción de que este trabajo mutre los procesos académicos y fortalece la calidad de la educación que se oferta, pues como plantea lo Restrepo (2013) hoy en día la calidad de la educación superior, está íntimamente asociada con la práctica de la investigación.

1) Formación: la cual se refiere al momento inicial en el que se aproxima a los docentes – investigadores a la estructura del sistema de investigación que en Colombia orienta Colciencias. Esta primera parte responde a las preguntas ¿Cómo el sistema d investigación en Colombia? ¿Qué criterios se deben contemplar para presentar proyectos de investigación? ¿De qué naturaleza deben ser los productos generados tras un proceso de investigación? ¿Qué es un grupo de investigación y cuáles son las categorías de grupos? ¿Qué es un investigador y cuáles son los tipos de investigador reconocidos por Colciencias?

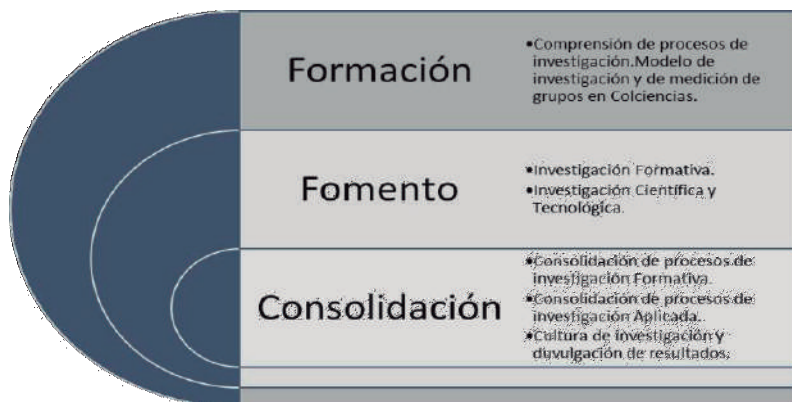


Figura 1. Ruta formativa proceso de investigación en la CEA

2) Fomento: etapa que hace referencia al trabajo inicial para fortalecer la investigación desde la comprensión de los procesos de investigación tales como: a) Investigación Formativa: este proceso de investigación se centra en el desarrollo de competencias y capacidades para la investigación, en principio, en los docentes que se encuentran iniciando su proceso como investigadores y posteriormente en el trabajo con los estudiantes vinculados los proyectos de investigación en su calidad de semilleros o pasantes; b) Científica, tecnológica: este proceso de investigación debe dar cuenta de los procesos que conducen a la generación de nuevo conocimiento básico o aplicado, que dan respuesta a problemas aun no resueltos en el campo o que han tenido sólo respuestas parciales ; y 3) Consolidación: este momento de la ruta se realiza un trabajo concentrado en los proyectos de investigación que los docentes han formulado. Por un lado, se visibilizan los vínculos entre los proyectos generados, las líneas de investigación, el trabajo desde los semilleros, desarrollos de pasantes (Investigación formativa).

Por otro lado, se aborda el trabajo concentrado en la investigación aplicada que se adelanta en los proyectos de investigación, identificación de productos (Generación de nuevo conocimiento, Apropiación social del conocimiento y de Actividades relacionada con la formación del recurso humano). Se Comprenden los caminos metodológicos asumidos, se analizan los resultados (de acuerdo al momento en el que se encuentre el proyecto) y se generan los productos pertinentes y relevantes de acuerdo a los compromisos pactados al formular el proyecto.

Las estrategias definidas para la formación en investigación en el CEA

En cuanto a las estrategias pedagógicas empleadas para fortalecer la investigación en el CEA, se generaron acciones en dos líneas. En la primera, Formación en investigación, se generaron tres cursos orientados a la formación en investigación y, en la segunda, se han venido desarrollando, de manera transversal, las clases de Metodología de la investigación en los cursos básicos ATC, AIS-COM-MET y BAE ofertados en el CEA. En este documento solo se hará énfasis y mención de la primera estrategia, Formación en Investigación.

Estrategia de formación en investigación

Curso Recursos Digitales para la investigación aeronáutica

Este curso apunta a tres de las competencias principales que debe poseer un investigador, la búsqueda gestión y uso pertinente de información. Comprendiendo que para poder formular una idea de investigación original y que realmente aporte al campo del conocimiento, es necesario saber qué se ha hecho sobre el tema de interés, e igualmente de importante, saber lo que no se ha hecho, para desde allí poder formular una propuesta coherente, que

innove y genere un aporte real. Por ello, el curso está articulado en tres unidades: La investigación en el sector aeronáutico-Conocimiento de herramientas para la búsqueda, gestión y uso de información, en las que se incluyen bases de datos de acceso abierto (Google Scholar, Science Direct, Microsoft Academic, entre otras), herramientas para el análisis de datos cualitativos y cuantitativos (RQDA, AtlasTi, SPSS, Librerías de lenguaje de programación R), herramientas de análisis de contenido como Fichas de revisión de textos y matrices de análisis de artículos. El curso hace énfasis en estas últimas, pues de las herramientas tecnológicas para análisis de datos solo se trabaja la utilidad de cada una de ellas. Finalmente, las herramientas de gestión bibliográfica en procesos de escritura de informes y productos científicos, en la que se hace especial énfasis y uso de Mendeley.

La segunda unidad: El problema de investigación -Búsqueda y gestión, desarrolla las habilidades para realizar las búsquedas de documentos científicos en las bases de datos especializadas, a partir de una definición inicial de palabras clave relacionadas con la idea de investigación, para este paso, existe un taller en el que se acude a herramientas como el Thesauros. En esta unidad los participantes aprenden a gestionar y usar los filtros presentes en las bases de datos para facilitar la consecución de información científica reciente, actualizada y relacionada estrechamente con el tema a analizar como idea de investigación. En esta unidad también se enseña a los participantes a emplear instrumentos de análisis de contenido como fichas bibliográficas y matrices de revisión de textos científicos, para extraer la información fundamental de los documentos.

En la tercera unidad: Herramientas digitales para la investigación- Uso pertinente de la información gestionada se lleva a cabo la construcción de la primera parte de un texto académico, la introducción. En esta parte se hace énfasis en los principios orientadores de Claerbout (n.d.), para la construcción de esta parte fundamental del texto. Aquí se señala la utilidad y dan a conocer las utilidades y posibilidades de "herramientas internas" que poseen los procesadores de texto Word y Latex. También se aborda el uso del gestor bibliográfico Mendeley.

También se enseñó a los participantes la necesidad de conocer los repositorios de revistas o journals de alto impacto como Scimago JR. En este sentido se realizó un ejercicio de búsqueda empleando los filtros que permite dicha web, por área y subárea. También fue explicada la manera en que dichos journals o revistas son clasificadas e identificadas por su impacto. Esta información es necesaria para el desarrollo del curso, dado que quienes están en el campo de la investigación deben tener claro en qué revistas nacionales e internacionales deben publicar para tener un mayor alcance en la divulgación de sus resultados de investigación.

Igualmente, durante el proceso del curso se hace énfasis especial en los detalles que deben ser tenidos en cuenta a la hora de generar procesos de investigación, de manera particular al realizar el estado del arte de un tema de investigación. Limitar la búsqueda a los años más recientes, identificar los tipos de texto que se quieren consultar, el uso de palabras clave en un segundo idioma, preferiblemente inglés, son claves a la hora de establecer qué artículos científicos servirán para realizar la revisión que toda investigación en proceso de formulación requiere que se haga.

Tanto en este como en los posteriores cursos que configuran las estrategias de formación en investigación se empleó la herramienta de acceso libre Google Drive, la cual también fue parte de la enseñanza en el marco de herramientas para la investigación que posibilitan no solo el uso compartido de información, sino, también facilitan el trabajo colaborativo.

Curso Metodología de la investigación

El propósito principal de este curso fue brindar comprensión a los participantes frente los elementos que deben considerar a la hora de formular un proyecto de investigación, generando como producto una propuesta de investigación. Para ello se realizaron explicaciones iniciales frente al estado de la investigación aeronáutica en el país y por qué es importante publicar para promover la investigación en el campo de estudio en el que se está. También fueron revisados los paradigmas (cualitativo y cuantitativo), los tipos de investigación (experimental, cuasi experimental, exploratorio, investigación acción e investigación acción participación, explicativa) con el fin de identificar las características de cada uno de ellos y saber cuáles resultan más favorables para ser empleados en el campo de la investigación aeronáutica.

En este curso se hizo una rápida introducción al tema de búsqueda, gestión y uso de la información en bases de datos científicas. También se revisó el portal Scimago JR para identificar las revistas de publicaciones científicas en el campo aeronáutico con mayor impacto. Teniendo en cuenta que el propósito principal de este curso fue la comprensión de los criterios para formular una propuesta de investigación y generar una propuesta de investigación inicial, se realizaron tres talleres que de manera progresiva permitieron logara el objetivo. El primer taller, Formulación de la propuesta de investigación-primera parte, tuvo en cuenta los criterios que deben contemplar a la hora de idear una propuesta de investigación. Este ejercicio es necesario, ya que ayuda a situar las áreas de formulación, lo que ya se ha estudiado, quiénes lo han hecho y qué falta por hacer. Esta última parte es vital para cualquier iniciativa de investigación ya que saber qué es lo que no se ha investigado en el tema posibilita enfocar y limitar lo que se pretende proponer como proyecto de investigación. Para este ejercicio se realizó una búsqueda juiciosa en las bases de datos especializadas de acuerdo a los temas

seleccionados por cada uno de los grupos conformados.

El siguiente paso fue la metodología. Esto se hizo a lo largo de los talleres 2 y En el taller 2 se definieron los objetivos, el tipo de diseño de la investigación que se plantea, el enfoque, tipo de investigación, muestra (con quiénes o donde se desarrollará), etc. Los instrumentos que podrían ser empleados en la investigación tienen un apartado en este taller, dado que éstos están ligados cercanamente con las variables a observar y por ende con los objetivos específicos.

En el taller tres se continuó trabajando en la metodología. Aquí se explicitó la propuesta y se mencionaron los instrumentos a emplear en la investigación, describiendo su denominación y la información que se pretende obtener con ellos. Con relación a este aspecto se precisó a los participantes que los instrumentos deben ser seleccionados a partir del diseño, el tipo de investigación que se va a desarrollar y las variables intervinientes. Identificar la información que se va obtener con cada uno de ellos es clave para que el investigador sepa si vale la pena usarlo o no.

Para finalizar el curso, los participantes realizaron las presentaciones de sus propuestas de investigación ante los demás inscritos en el curso. Esta sesión de socialización de las propuestas elaboradas por cada grupo durante el desarrollo del curso tuvo dos propósitos fundamentales. El primero, evidenciar que de manera interdisciplinar los funcionarios de la entidad pueden colaborar en proyectos de investigación que favorezcan mejorar problemáticas al interior de la Aerocivil y que pueden ser solventadas gracias a la investigación académica; y, el segundo, permitir que las propuestas tuviesen observaciones de funcionarios que se desempeñan en diferentes áreas en diferentes lugares del país; esto permitió que se obtuvieran valiosos aportes para cada uno de los proyectos y se consideraran posibles grupos de trabajo para colaborar en proyectos de investigación.

Curso Redacción de Artículos científicos

De acuerdo con Asencio & Ibarra (2018) una investigación culmina cuando se divulgan los resultados en una publicación científica, es decir cuando se genera el artículo. Escribir un artículo o cualquier otro documento académico requiere conocer la estructura del mismo, las características que ese tipo de texto debe contemplar. Justamente, este tipo de comprensión hace parte de la primera etapa del curso de Redacción de artículos científicos, en la cual se aproxima a los participantes del curso, a la tipología textual de los textos académicos, en la que se hace especial en:

- Naturaleza de los textos e intencionalidades de los mismos. Aquí se especifica que los

informes de investigación y la tesis hacen son documentos que, generalmente, circulan a nivel interno de la entidad de afiliación del estudiante -tesista y/o de las entidades involucradas en el proyecto de investigación. En contraste, aunque en la estructura del texto guardan similitudes, el nivel de circulación del artículo científico es mucho más amplio, ya que al ser publicados en revistas indexadas la información que allí se comparte tiene un uso abierto al público dependiendo de los accesos que permita la revista en la que se ha publicado.

- Contenido en cada uno de los apartados del texto (abstrac, introducción, desarrolló temático o conceptual, método y materiales, resultados, discusión, conclusiones y referencias)
- Manejo de normas de acuerdo a la solicitud de la revista y aspectos bioéticos en cuanto a los derechos de autor en la gestión y uso de la información.

Este curso tiene como prerrequisito haber participado previamente en un proceso de investigación (desarrollo de tesis de especialización y/o maestría). Esto, con el fin de que los participantes tuviesen un aprovechamiento máximo de los contenidos definidos en el curso al tener las nociones básicas del método científico.

A lo largo del curso se desarrollan seis (6) talleres. El primero, recoge los detalles principales del proyecto de investigación que los participantes tuvieron previamente (desarrollo de tesis de especialización y/o maestría). El segundo, propicia el procedimiento para la identificación de las palabras clave necesarias en un proyecto de investigación. En el tercer taller se desarrolla una matriz conceptual en la que se analizaron 10 referencias recientes (artículos científicos) que hubiesen trabajado el tema de cada uno. Esta matriz contemplo elementos detallados de los documentos analizados (año, autor, título, fuente, resumen, metodología, resultados y conclusiones). El cuarto taller permite que los participantes analizaran las revistas indexadas del área de publicación de acuerdo al tema que cada uno seleccionó (nombre de la revista, área de la revista, tipos de artículos que publica, tipo de circulación y ediciones al año). Los últimos dos talleres (talleres 5 y 6), se concentraron en la elaboración de la introducción siguiendo los principios propuestos por Claerbout (1991) (revisión, objetivo y agenda del documento). El taller 6 se dedica a la construcción del manuscrito, Allí los participantes tuvieron la posibilidad de desarrollar su texto siguiendo las orientaciones dispuestas en la plantilla para cada apartado.

Tendencias en las ideas de investigación en los procesos de formación en investigación en el CEA

Dada la variedad de perfiles y de especialidad según el nivel de formación y área de desempe-

ño de los participantes de los cursos, las temáticas o ideas de investigación abordadas por éstos en los talleres y ejercicios propuestos en los cursos tienen enfoques diversos, tal como se menciona en el siguiente listado:

- Optimización y mejoramiento de la enseñanza de una segunda lengua en controladores de tránsito aéreo.
- Análisis de las investigaciones sobre accidentes de tránsito a partir de categorías, según el nivel y tipo de incidente.
- Análisis de los incidentes de tránsito aéreo por impacto de aves en Colombia.
- Causas de accidentalidad tras el uso de combustible en los aeropuertos de Colombia.
- Análisis sobre un modelo de gestión para la planificación de los turnos operativos efectivos en el área de Control de Tránsito Aéreo.
- Determinar los factores que determinan la ocurrencia de impacto de las aeronaves con las aeronaves en las cercanías de los aeropuertos.
- Contaminación visual en el centro de la ciudad de Armenia y su impacto en el paisaje urbano.
- Análisis de factores asociados al clima laboral en los aeropuertos de Colombia.
- Factores a tener en cuenta para el proceso de tratamiento preventivo en la salud psicológica y emocional del personal de bomberos en la aeronáutica civil en el tema de post emergencias.
- Como integrar las aeronaves remotamente pilotadas con aeronaves tripuladas.
- Factores asociados al agotamiento y fatiga de controladores de tránsito aéreo en los aeropuertos del país.
- Causas y factores asociados al desinterés por el aprendizaje del inglés en algunos integrantes de las áreas AIM
- Automatización del proceso de fajas de progreso de vuelo para facturación de servicios aeronáutico.

Dentro de la variedad de ideas de investigación adelantadas, se encontró que la mitad de ellas se ubicó en la línea de investigación Seguridad Operacional, la cuarta parte del total de las ideas se ubicó en la línea de Seguridad de la Aviación civil y el restante 25% se distribuyó entre las ideas afines a las líneas de investigación de Gestión de la Aviación y Protección del medio ambiente.

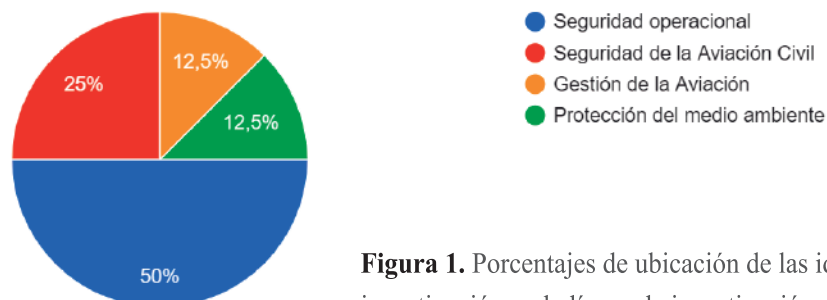


Figura 1. Porcentajes de ubicación de las ideas de investigación en las líneas de investigación vigentes en el CEA

El impacto de la estrategia

Adelantar estrategias de formación en una entidad tan grande como la Aeronáutica civil es un reto importante, dado que el número de dependencias y funcionarios que circundan a lo largo del territorio nacional es amplio. Para identificar el nivel de impacto por áreas, es posible hacerlo a partir de las regiones aeronáutica identificada con la entidad. En la gráfica 1 puede verse que, si bien el curso se desarrolla en la región de Cundinamarca, existe una alta presencia de funcionarios de regiones más apartadas. También es preciso mencionar que el perfil y áreas de desempeño de los funcionarios participantes en los cursos es variada, lo que refleja no solo la visibilidad que la investigación está teniendo la entidad, pues también pone de relieve que los funcionarios de áreas diversas encuentran este proceso de formación interesante y con posibilidades de ser abordado desde sus diferentes áreas de trabajo y saberes. Vale la pena mencionar que algunos de los participantes en los cursos se han animado a participar en actividades de investigación (presentación en ponencias internacionales, coinvestigadores de proyectos).

Proyecciones

Como se aprecia a lo largo del presente texto, el camino recorrido hasta ahora en cuanto a los procesos de investigación académica en el CEA tiene un provechoso avance que requiere del trabajo desde varios frentes, el de docentes, el de estudiantes y el de funcionarios. Los tres han sido impactados, lo que es de gran importancia para forjar una cultura de la investigación. Cuando se habla de una cultura de la investigación, se piensa en el uso natural de la investigación para dar soluciones a problemáticas presentes en los entornos en los que se desenvuelven las personas, haciendo uso de la innovación y los aportes académicos de investigaciones similares. En la investigación son abordados diferentes aspectos, entre ellos la documentación, las revisiones, el trabajo de campo, la observación, la comprobación de hipótesis, entre otros, que requieren ser dados a conocer como resultados parciales o totales de los procesos de investigación.

Así, una de las grandes proyecciones que tiene el grupo de investigación académica del CEA para continuar forjando una cultura de la investigación, tiene que ver con la formación de docentes, estudiantes y funcionarios en cuanto a la divulgación de los resultados de investigación, entre ellos, la escritura y publicación de artículos científicos, la elaboración y presentación de ponencias, la creación de artefactos y patentes entre otros productos que permiten compartir con la comunidad académica de la investigación aeronáutica lo que se desarrolla en el CEA. Lo que viene entonces, tiene que ver con el desarrollo de propuestas de formación en ese sentido.

Bibliografía

- Asencio, E., & Ibarra, N. (2018). Experiencia en la preparación de investigadores como autores y revisores de artículos científicos. *Biblios: Journal of Librarianship and Information Science*, 70(70), 44–59. <https://doi.org/10.5195/BIBLIOS.2018.485>
- CEA. Proyecto Educativo Institucional Centro de estudios Aeronáuticos (2019). Retrieved from <http://www.aerocivil.gov.co/cea/educacion-superior/>
- Claerbout, J. F. (1991). A scrutiny of the introduction. In *The Leading Edge* (pp. 287–291). California: Stanford University.
- Cortés, M. I., Norman, E., & Ortiz, D. (2019). Caracterización de proyectos de investigación formativa de programas virtuales del Politécnico Grancolombiano. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 21. <https://doi.org/10.24320/redie.2019.21.e19.1992>
- Daher, J., Panunzio, A., Hernández, M., & Navarrete, J. (2018). Revisiones Bibliográficas La calidad en la educación superior desde la gestión universitaria en investigación. *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas*, 21(1), 40–47. Retrieved from <http://eluniversitario.edu.ec/revistas/index.php/RFCM/article/view/305/120>
- Jiménez, V. (2003). Investigación didáctica. *Enseñanza De Las Ciencias*, 21(3), 343–358.
- Lobatón, G. (2015). Investigación formativa : experiencia significativa para la cultura académica Formative Research : Meaningful Experiences for the Academic Culture. *Opción*, 31(4), 1012–1587. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=310/31045569043>
- Miyahira, J. M. (2009). La investigación formativa y la formación para la investigación en el pregrado. *Revista Medica Herediana*, 20(3), 119–122. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rmh/v20n3/v20n3e1.pdf>
- Palomar, C. (2013). Culturas académicas. prácticas y procesos de formación para la investigación en doctorados en educación. *Perfiles Educativos*, 35(139), 204–212. Retrieved from <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0185269813718178?token=F405FE0CE35DD881E86B727CE6B017F8B2B0C2C9794EBB57C7D205BE52206E368BFDAD785ACCB3C6A63AF3624805A261>
- Resolución 2909/Ministerio de Educación Nacional. (2016). Resolución No. 2909 MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. Asignación de código SNIES-Centro de Estudios Aeronáuticos-CEA. Ministerio de Educación Nacional. Retrieved from

<http://www.aerocivil.gov.co/cea/QuienesSomos/marco-legal>

Restrepo, B. (2013). Conceptos y aplicaciones de la investigación formativa, y criterios para evaluar la investigación científica en sentido estricto.

Retrieved from <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2017/03/Investigación-Formativa-Colombia.pdf>

Rubio, M. Jo., Vilà, R., & Berlanga, V. (2015). La investigación formativa como metodología de aprendizaje en la mejora de competencias transversales. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 196(July 2014), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.037>

Valencia, J., Macias, J., & Valencia, A. (2015). Formative Research in Higher Education: Some Reflections. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 176, 940–945. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.562>

Velandia-Mesa, C., Serrano-Pastor, F.-J., & Martínez-Segura, M.-J. (2017). Formative research in ubiquitous and virtual environments in higher education. *Comunicar*, 25(51), 9–18. <https://doi.org/10.3916/C51-2017-01>

Viteri, T., & Vázquez, S. (2016). Formación de habilidades de investigación formativa en los estudiantes de la carrera de ingeniería comercial de la facultad de ciencias administrativas de la universidad de guayaquil.

Universidad y Sociedad, 36–44. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n1/rus05116.pdf>



CAPITULO 8

REVISIÓN DOCUMENTAL DE LAS POLÍTICAS EDUCATIVAS EN COLOMBIA

Como citar este Capítulo

García González. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos
Revisión documental de las políticas educativas en Colombia. En A. d. Mar-
tinez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el
Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de
Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.

Revisión documental de las políticas educativas en Colombia

Oro de Ofir García González ¹

Resumen

En este escrito se hace una revisión de diferentes autores que analizan el concepto de política pública, así mismo de otros, que hacen reflexiones al respecto de las políticas educativas, se habla sobre los diferentes tipos de investigación educativa, en el caso del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional según el escrito de José Luis Coraggio, en Colombia, se realiza un recorrido de lo que hasta el momento ha implementado el gobierno nacional sobre este tema, se tienen como referentes los entes reguladores en educación superior como el Ministerio de Educación Nacional, el Consejo Nacional de Educación Superior, el Consejo Nacional de Acreditación, la Constitución política de Colombia de 1991, así mismo, cómo a través de éstos, se han implementado ciertas políticas públicas educativas para alcanzar una educación superior de alta calidad, en que se involucren el estado y la sociedad.

La metodología implementada, es una revisión documental hermenéutica descriptiva, con un enfoque cualitativo, con el fin de realizar un análisis documental sobre políticas públicas y políticas públicas educativas, con sus aspectos más relevantes.

Palabras claves:

Educación superior, política pública, política pública de educación, investigación educativa, alta calidad, entes reguladores, estado, sociedad.

Introducción

Las políticas públicas son generadas en Colombia por los municipios, departamentos, o a nivel nacional, las políticas públicas educativas a nivel superior, a su vez, son directrices revisadas y aprobadas por el Ministerio de Educación Nacional, quien, a través de sus diferentes organismos de vigilancia y control, verifica que sean debidamente implementadas.

¹ Magister en Educación, Universidad Javeriana. Especialista en Docencia Universitaria Ingeniera de Sistemas.

Lo anterior con el fin de garantizar que la educación que se ofrece en las instituciones educativas a nivel superior, cumplan con los requisitos mínimos de calidad, y en el caso de las IES acreditadas, con los estándares más altos de calidad.

z Por ello las políticas públicas educativas, deben satisfacer las necesidades puntuales de la sociedad, quien, a través de ciertos líderes seleccionados, deben recoger los planteamientos que surgen de la comunidad, para así tener una construcción en conjunto, apuntando a garantizar lo estipulado en la constitución política de 1991 en su artículo No.67, donde consagra que “la educación en Colombia siga siendo un derecho fundamental al alcance de todos”.

Políticas públicas

Para hablar de políticas públicas en educación, se debe conocer ¿qué es una política pública?, ¿Porque se genera? ¿Quién la genera y aprueba ¿Cómo se aplica?

Las siguientes definiciones de políticas públicas, a través de una revisión documental de varios autores, dan cuenta de las respuestas a estos interrogantes.

Otra definición de políticas públicas en el libro publicado en la página web de la función pública “Introducción a las políticas públicas. Conceptos y herramientas entre el Estado y la Ciudadanía (2013)” afirma que:

Las políticas públicas son reflejo de los ideales y anhelos de la sociedad, expresan los objetivos de bienestar colectivo y permiten entender hacia dónde se quiere orientar el desarrollo y cómo hacerlo, evidenciando lo que se pretende conseguir con la intervención pública y cómo se distribuyen las responsabilidades y recursos entre los actores sociales. Por lo tanto, las políticas públicas no son solo documentos con listados de actividades y asignaciones presupuestales, su papel va más allá; son la materialización de la acción del Estado, el puente visible entre el gobierno y la ciudadanía (Torres, Jaime; Santander, Jairo, 2013).

El estado como administrador de bienes públicos y proveedor de servicios básicos, tiene la obligación de trabajar de la mano con la gente para suplir sus necesidades, es por ello por lo que las políticas públicas deben ser construidas con los principales actores de cada lado.

Se evidencia entonces, que las políticas públicas surgen por la falta de determinadas condiciones sociales, que reclaman soluciones efectivas a las problemáticas presentadas, sin dejar de un lado la participación ciudadana que, aunque no sea obligatoria, ha creado una interacción entre el estado – sociedad.

Para los autores Torres y Santander en su libro titulado “Introducción a las políticas públicas: Conceptos y Herramientas desde la relación Estado y Ciudadanía” (2013), afirman que “el proceso de una política pública expresa la utilidad del poder público para canalizar recursos sociales en procura de la satisfacción de las necesidades de los ciudadanos” (Torres, Jaime; Santander, Jairo, 2013). Por medio de las políticas públicas, el Estado debe trabajar con y para la sociedad, cuyo objetivo principal debe ser solucionar sus problemáticas, las cuales se deben expresar de manera clara y oportuna.

Para Velásquez, es necesario generar una definición de política pública, en su artículo “Hacia una nueva definición del concepto -política pública-”, de la revista desafíos del año 2009 identifica que existen varias fallas, las cuales se muestran en la tabla No.1:

Tabla 1. Tipos de Falla de la definición de Política Pública, según Velásquez.

Falla Tipo I	Falla Tipo II	Falla Tipo III
<p>Definiciones que por ser muy específicas dejan por fuera fenómenos que deben ser considerados como política pública.</p> <p>Aquí encontramos aquellas definiciones de naturaleza normativa, que le exigen a las políticas públicas la búsqueda del interés común para que sean consideradas como tales, dejando por fuera del concepto las que se apartan de este deber ser.</p>	<p>En el mundo real de las políticas, encontramos algunas que se alejan de lo público o del interés común, porque grupos particulares permean las esferas de poder para obtener a través de la política una ventaja en desmedro de los intereses de una colectividad.</p> <p>Por repudiables que sean, este tipo de políticas son públicas, y deben ser objeto de estudio del análisis de las políticas. Por eso las definiciones deben ser de corte descriptivo y no normativo.</p>	<p>Definiciones que por ser muy generales e incompletas permiten que se considere como política pública decisiones o actividades que no lo son.</p> <p>El ejemplo más representativo de esta falla se observa en la definición de Thomas Dye: “[política pública es] lo que los Gobiernos escogen hacer o no hacer”; y en el concepto de Hugh Hecló, quien establece que política es un “curso de acción adelantado bajo la autoridad de los Gobiernos”.</p>

Fuente: (Velásquez, 2009). Hacia una nueva definición de política pública

Los conceptos anteriores no solo dejan a un lado elementos relevantes del concepto de política pública (finalidad de la política y los instrumentos para cumplir los objetivos), sino que

no dejan ver la diferencia entre gestión y política pública. (Velásquez, 2009).

Velásquez afirma que la segunda razón para complementar la definición de política pública tiene ya un sentido más pedagógico (2009):

Una definición completa y actualizada del concepto contribuirá a que académicos, estudiantes, profesionales, funcionarios públicos y líderes sociales y políticos cumplan con cuatro objetivos:

- a) Adquirir un conocimiento integral de lo que significan las políticas públicas y los elementos que las conforman;
- b) Reconocer aquellos casos que no constituyen política pública;
- c) Ganar consciencia sobre las posibilidades para contribuir al bienestar ciudadano a través del estudio y la formación de políticas públicas particulares;
- d) Identificar aquellas políticas públicas que son defectuosas, ya sea por su inadecuada concepción o por circunstancias ajenas a la responsabilidad de sus autores (Velásquez, 2009).

La nueva definición de política pública debe incluir cuatro objetivos precisos, de esta forma su significado será más claro para aquellos profesionales tanto académicos como funcionarios públicos y líderes sociales.

La definición que plantea Velásquez debe tener cuatro elementos (2009), que se evidencian en la tabla No.2:

Tabla 2. Cuatro elementos que debe tener la definición de política pública según Vásquez (2009).

1. Procesos integrados de decisiones, acciones. Inacciones, acuerdos o instrumentos.	... “Proceso” significa que la política pública no es un hecho simple ni inmediato, sino un fenómeno complejo que se extiende en el tiempo gracias a la existencia de unas autoridades públicas que hacen la política de manera permanente.
	No hablamos de un ciclo de la política pública compuesto por unos momentos de agendación, formulación, implementación y evaluación que se suceden y se agotan en el tiempo, sino de la formación de la política a través de la interacción permanente de todas estas actividades...

2. Proceso adelantado por autoridades con la participación eventual de los particulares.

Los particulares pueden participar de la política pública, por ejemplo, promoviendo la agendación de una nueva política o dando sus aportes en la definición de las situaciones, objetivos e instrumentos cuando son convocados por una disposición legal o por la voluntad de los gobernantes. También pueden convertirse en los implementadores de la política cuando esta misma llegue a contemplarlo o cuando se organicen para evaluar sus efectos con el fin de introducir ajustes.

Sin embargo, la participación de los particulares no es un requisito fundamental en todas las políticas públicas; Por tal motivo, la definición propuesta emplea la expresión “con la participación eventual de los particulares”.

3. Proceso encaminado a prevenir o solucionar una situación definida como problemática.

... La política pública será exitosa cuando logre producir los resultados previstos por sus autores, contribuyendo a la reducción del problema o a su prevención; sin embargo, esto no siempre ocurre, pudiendo fracasar total o parcialmente, incluso agravando la situación considerada inicialmente. El fracaso total o parcial no niega la existencia de la política pública.

4. La política pública hace parte de un ambiente determinado del cual se nutre y al cual pretende modificar o mantener.

La política pública, como proceso integrador y como subsistema mismo, no se forma en el vacío; hace parte de un ambiente con el que se interrelaciona y sin el cual no puede existir. El ambiente afectará a la política, esta buscará incidir en él, tratando en ocasiones de mantener las cosas en su estado actual.

Fuente: (Velásquez, 2009). *Hacia una nueva definición de política pública.*

Una vez expuestos sus argumentos, para Velásquez la definición de una política pública es:

...proceso integrador de decisiones, acciones, inacciones, acuerdos e instrumentos, adelantado por autoridades públicas [o iniciativas de la sociedad civil] y encaminado a solucionar o prevenir una situación definida como problemática. La política pública hace parte de un ambiente determinado del cual se nutre y al cual pretende modificar o mantener” (Velásquez, 2009).

Se ratifica que las políticas públicas deben ser formuladas para la sociedad, estudiadas y aplicadas por el Estado, supliendo las necesidades planteadas, todo en pro de un beneficio común, y con una eventual participación de particulares que tengan el debido conocimiento de la labor que ejerce la política pública.

Citando nuevamente el libro “Introducción a las políticas públicas: Conceptos y herramien-

tas desde la relación entre Estado y Ciudadanía” de los autores Jaime Torres y Jairo Santander (2013), en su capítulo uno, habla de la garantía de los derechos humanos, *“Esta interdependencia se refleja en la importancia de las políticas públicas para garantizar los derechos ciudadanos. Por lo tanto, este capítulo se orienta a entender los elementos básicos de esa relación y su impacto en la sociedad”* (Torres, Jaime; Santander, Jairo, 2013).

En el libro *Políticas Públicas Formulación, Implementación y Evaluación*, escrito por Andre-Noël Roth Deubel (2009), se refiere a la semántica que existe con el término política, y sus tres conceptos que se distinguen claramente en inglés; polity, politics y policy, así mismo nombra varios autores que definen el concepto de política pública:

En la literatura especializada existe una gran cantidad de definiciones del concepto de política pública. Por ejemplo, Hecló y Wildavsky (1974: xv) han propuesto para ello una definición simple: "una política pública (policy es una acción gubernamental dirigida hacia el logro de objetivos fuera de ella misma". Mény y Thoenig (1986:8) proponen una definición cercana; para ellos la política pública es "la acción de las autoridades públicas en el seno de la sociedad", luego, según los mismos autores (1986:12), la política pública se transforma en "un programa de acción de una autoridad pública". Para otro autor (Dubnick, 1983:7) política pública "está constituida por las acciones gubernamentales lo que los gobiernos dicen y lo que hacen con relación a un problema o una controversia (issue)". (Roth, 2009).

Se concluye, que los tres términos según la semántica están unidos entre sí, con el fin de dar solución a una problemática determinada de la sociedad, que debe ser controlada y vigilada por una autoridad para que esta se cumpla y sea implementada.

De igual forma nombra definiciones de política pública de algunos autores colombianos como Carlos Salazar (1990) que afirma que "el conjunto de sucesivas respuestas del Estado (o de un gobierno específico) frente a situaciones consideradas socialmente como problemáticas" o como *"el conjunto de sucesivas iniciativas, decisiones y acciones del régimen político frente a situaciones socialmente problemáticas y que buscan la resolución de las mismas o llevarlas a niveles manejables"* Vargas Velásquez (1999).

Con base en estas definiciones Roth (2009), concluye que una política pública es:

Un conjunto conformado por uno o varios objetivos colectivos considerados necesarios o deseables y por medios y acciones que son tratados, por lo menos parcialmente, por una institución u organización gubernamental con la finalidad de orientar el comportamiento de actores individuales o colectivos para modificar una situación percibida como insatisfactoria o problemática. (Roth, 2009. P.27).

Las políticas públicas son necesarias para encaminar una determinada situación, orien-

tando a sus protagonistas a participar activamente en la solución, siguiendo ciertas normas que les permitan solucionar de manera adecuada determinada situación.

Para Carlos Salazar en su artículo "La evaluación y el análisis de políticas públicas", publicado en la revista Opera en el 2009, (Salazar, 2009):

La función más importante de la evaluación es proporcionar información acerca del desempeño de las políticas públicas, es decir, permitir detectar las discrepancias entre el desempeño real de las políticas públicas y el esperado y su contribución al alivio de los problemas públicos (Dunn). Por su parte, Weiss divide las funciones de la evaluación en dos áreas: el proceso de toma de decisiones y el aprendizaje organizacional.

Es importante realizar una evaluación de las políticas públicas formuladas, ver si están cumpliendo con su objetivo y en caso de no hacerlo, saber reformularlas para así ayudar a la toma de decisiones en las organizaciones, para Salazar se deben tener en cuenta los siguientes criterios de evaluación (2009):

- (1) efectividad en el logro del valor final,
- (2) eficiencia para alcanzar ese logro,
- (3) adecuación del objetivo logrado para la solución del problema público,
- (4) equidad en la distribución de los beneficios y
- (5) los costos y la satisfacción real de los beneficiarios (Salazar, 2009. P.25).

Con estos criterios no solo se beneficia el evaluador, las personas que diseñan las políticas públicas, los funcionarios quienes al final son los que las llevan a cabo, sino que también, pueden servir de base para realizar nuevas políticas, garantizando transparencia en su efectividad, eficiencia, solución a problemas sociales, equidad, costos y bienestar a los usuarios.

Es así como se refleja que las políticas públicas son más que un "simple" instrumento, son relevantes, debe existir una interacción constante, permanente, entre Estado y Sociedad, para así buscar un mecanismo evaluador con el cual se garantice que éstas sean hechas para solucionar una problemática social con toda la transparencia y confianza de su implementación y cumplimiento.

Se hace necesario hablar sobre el término "equidad" pues es recurrente en este estudio documental, según el diccionario de la lengua española, edición tricentenario, actualización 2019, la palabra equidad se define como: "*Igualdad de ánimo*" y la palabra *educación* "*acción y efecto de educar*" (Asociación De Academias De La Lengua Española, 2019). Si se combinan estos dos términos, equidad educativa, se podría afirmar que todos los estudiantes deben tener el mismo ánimo para recibir educación por parte de los docentes, es decir en iguales

condiciones para todos.

En la página de la OCDE, Mejores políticas para una vida mejor, en su artículo “La OCDE sostiene que es necesario redoblar los esfuerzos para mejorar la equidad en la educación” publicado el 11 de septiembre de 2019, habla sobre las estadísticas y panorama de la educación en el año 2018, menciona que *“los hijos de madres que no han alcanzado la educación terciaria tienen menos probabilidades de estar matriculados en programas de atención y educación de la primera infancia (AEPI)”*, así mismo habla sobre la equidad en la educación:

A fin de lograr la equidad en la educación, los países deberían centrarse en la financiación y la dotación de recursos para la educación de los más vulnerables, la prevención de las repeticiones de curso y el fomento del acceso a la educación general de las personas procedentes de entornos desfavorecidos. Los profesores deberían disponer de buenas oportunidades para la formación y capacitación continua, así como contar con el conocimiento pedagógico adecuado para identificar y apoyar a estudiantes de todos los niveles; asimismo, resulta necesario promover el acceso y la provisión de una educación de la primera infancia de alta calidad y al alcance de todos. La importancia de invertir en AEPI, especialmente para los niños de entornos desfavorecidos, es también una recomendación crucial del informe “Marco de la OCDE para la acción de políticas para el crecimiento inclusivo” presentado recientemente, como una medida para reducir las desigualdades. (OCDE, 2019)

Este informe da relevancia a la educación de la primera infancia, donde se deben concentrar los esfuerzos y la inversión social, pues allí donde se puede asegurar la permanencia de los niños y niñas en los siguientes años dentro del sistema educativo, menciona estadísticas en países como Brasil, México y Chile, donde se da un porcentaje mayor en los sueldos de los hombres sobre las mujeres, y sobre todo aquellos que tienen una educación terciaria.

Políticas públicas educativas

Para José Luis Coraggio, en su artículo “Investigación educativa y decisión política. El caso del Banco Mundial en América Latina” (1998), existen diversos tipos de investigación en que se realizan las políticas educativas y para América latina toma en cuenta las influencias económicas del Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial:

...Si un paradigma de política educativa es una constelación establecida de ideas, valores y reglas de acción racional en materia educativa, que articula teorías particulares sobre distintos aspectos de la educación y su relación con la sociedad, con la economía, con la política y presupuestos filosóficos y utopías, ¿Qué papel juega, a que intereses responde la investigación educativa que se supone produce y pone a prueba nuevas

ideas? (Coraggio, 1998).

Propone cinco tipos de investigación y su relación con los paradigmas y políticas educativas, se observan en la tabla No.3:

Tabla 3. Cinco tipos de investigación propuestos por Coraggio 1998.

Tipo de investigación	Descripción
1. Investigación instrumental o tecnológica	Interés: Producir conocimientos útiles para el diseño e implementación de políticas educativas orientadas por un paradigma vigente. Tanto para diagnosticar situaciones concretas en las que van a ser aplicadas, como para dar seguimiento y evaluar el resultado de las políticas educativas.
2. Investigación "cientificista".	Desarrollada por los estudiosos que, dentro de un paradigma educativo dado, desarrollan o prueban nuevas hipótesis, sistematizan el conocimiento empírico acumulado, estudian procesos o relaciones específicas, e incluso experimentan para resolver problemas que ese paradigma plantea como los problemas cruciales que la ciencia debe encarar en el campo educativo. Guiada por el interés de la "verdad", puede encarar cuestiones tan fundamentales como las condiciones sociales de la educación, o condiciones psicosociales del aprendizaje.
3. Investigación legitimante de las políticas educativas.	No está orientada por las necesidades de instrumentación de las políticas, ni por la búsqueda de la "verdad", sino por el objetivo de asegurar la aceptación de las políticas defendiendo el conjunto de ideas que las encubren y justifican.
4. Investigación estilo hermenéutico.	Intenta producir otra comprensión mediante la: resignificación del discurso educativo al que se opone en principio. Es una investigación deslegitimante, cuyo interés estratégico es descalificar las políticas cuestionando la pretensión de validez del conjunto de ideas que la recubren. Su objetivo no es resolver los problemas del paradigma no acompañar la cotidianidad de la implementación de sus políticas, sino refutarlo, cuestionando la pretensión de eficacia o eficiencia de las políticas que genera.
5. Investigación alternativa.	Pone a prueba la validez de las políticas oficiales, propone otras políticas alternativas para mejorar la educación, lo que constituye su interés técnico-político específico. Se trata de conjugar el análisis crítico de las políticas oficiales con la elaboración de propuestas concretas sobre qué hacer en cambio, sobre cómo organizar el proceso de enseñanza y aprendizaje

Fuente: (Coraggio, 1998)

Adiciona el autor que "se podrán contrarrestar los esfuerzos por legitimar las propuestas del Banco Mundial u otras propuestas oficiales con la investigación, pero llega un momento en que no es suficiente, entre otras cosas porque hay cuestiones que no se pueden decidir empíricamente" (Coraggio, 1998. P.13).

Es posible establecer diferentes estilos de implementación de políticas con objetivos comunes en el sistema educativo nacional, sin embargo, se pueden presentar múltiples teorías o metodologías, que al final, deben apuntar al bien de una comunidad, a dar solución a una necesidad, a beneficiar a la sociedad, donde se incluyan la calidad, la pertinencia y la equidad. Aunque, para Coraggio, las hipótesis de las nuevas políticas educativas no están impuestas por la verdad, sino por el poder.

En su libro “El derecho a la educación en Colombia” Carlos Alberto Lerma Carreño (2007), habla sobre el artículo 67 de la constitución colombiana de 1991:

La educación es un derecho de la persona y un servicio público que tiene una función social; con ella se busca el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica, y a los demás bienes y valores de la cultura. La educación formará al colombiano en el respeto a los derechos humanos, a la paz y a la democracia; y en la práctica del trabajo y la recreación, para el mejoramiento cultural, científico, tecnológico y para la protección del ambiente. El Estado, la sociedad y la familia son responsables de la educación, que será obligatoria entre los cinco y los quince años de edad y que comprenderá como mínimo, un año de preescolar y nueve de educación básica. La educación será gratuita en las instituciones del Estado, sin perjuicio del cobro de derechos académicos a quienes puedan sufragarlos.

Corresponde al Estado regular y ejercer la suprema inspección y vigilancia de la educación con el fin de velar por su calidad, por el cumplimiento de sus fines y por la mejor formación moral, intelectual y física de los educandos; garantizar el adecuado cubrimiento del servicio y asegurar a los menores las condiciones necesarias para su acceso y permanencia en el sistema educativo. La Nación y las entidades territoriales participarán en la dirección, financiación y administración de los servicios educativos estatales, en los términos que señalen la Constitución y la ley (Constitución Política de Colombia, 1991).

Es así como el estado debe garantizar la educación como un derecho, por lo menos desde la primera infancia hasta la educación básica, donde debe vigilar e inspeccionar que sea de calidad, asegurando su permanencia en el sistema educativo y el ingreso a la educación superior.

Lerma (2007), en el mismo libro, menciona que en Colombia:

Aspectos como la educación privada y pública, los fines y objetivos de la educación, los procesos de evaluación, los recursos financieros, la profesión docente, la promoción automática, el estatuto docente, la gratuidad de la educación, la ley estatutaria de educación, el proyecto alternativo de educación, entre otros muchos, que van exponiéndose

desde la argumentación más global a la más específica relacionada con el aula, se convirtieron en temas obligados del quehacer educativo del país y en problemas ineludibles cuando se habla del derecho a la educación (Lerma, 2007).

Tanto así que dentro de los propósitos del plan decenal se encuentran:

Convertir la educación en un propósito nacional y un asunto de todos.

Lograr que la educación se reconozca como el eje del desarrollo humano, social, político, económico y cultural de la nación.

Desarrollar el conocimiento, la ciencia, la técnica y la tecnología.

Integrar orgánicamente en un solo sistema la institucionalidad del sector educativo y las actividades educativas de otros entes estatales y de la sociedad civil.

Garantizar la vigencia del derecho a la educación (Lerma, 2007).

En los planes nacionales de desarrollo de los últimos gobiernos el tema de educación se ha tratado como servicio no como derecho:

La Revolución Pacífica 1990-1994 (Plan de Desarrollo de César Gaviria)

El Salto Social 1994-1998 (Plan de Desarrollo de Ernesto Samper)

Cambio para construir la paz 1998-2002 (Plan de Desarrollo de Andrés Pastrana)

Hacia un Estado Comunitario 2002-2006 (Plan de Desarrollo de Álvaro Uribe Vélez)

Para Lerma en los últimos años, aunque se ha dado un gran avance en la educación en temas como cobertura, calidad, equidad y otros planteados en los anteriores gobiernos, hay políticas que son contrarias a lo que se pretende:

Aunque durante los últimos 16 años las grandes líneas de política han sido la ampliación de la cobertura, la calidad y la eficiencia del sector, sin embargo, resultaron insuficientes para avanzar en la garantía del derecho a la educación; incluso en algunas situaciones concretas estas políticas han actuado en contravía respecto de la garantía del derecho.

El informe de la relatora especial de Naciones Unidas, Katarina Tomasevski, sobre el disfrute del derecho a la educación en Colombia, preparado por la Plataforma de Dere-

chos Humanos Democracia y Desarrollo, y el más reciente informe de la procuraduría El Derecho a la Educación: la Educación en la Perspectiva de los Derechos Humanos, coinciden en afirmar la deficiencia de la política pública para garantizar el derecho a la educación. Incluso el informe Derechos Económicos, Sociales y Culturales (DESC) plantea el incumplimiento del Estado colombiano del artículo 13 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (Lerma, 2007).

Esto confirma que la educación en Colombia necesita de más inversión social, que las políticas públicas deben ser más claras y ser implementadas pensando en la sociedad con una visión para satisfacer a la comunidad no a la organización, sin embargo, en las políticas que se han planteado, se ha pensado más en inclusión, calidad, cobertura y equidad, la idea es que sea una realidad más concreta, para así garantizar el derecho que tiene todo ciudadano a la educación.

En los planes de gobierno del expresidente Juan Manuel Santos y el actual presidente Iván Duque, han pensado en más inversión económica y social para lograr una Colombia mejor:

Todos por un nuevo país 2014-2018 (Plan de Desarrollo de Juan Manuel Santos)

Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad, que tiene la inversión más grande de la historia en materia de justicia social. 2018-2022 (Plan Nacional de Desarrollo de Iván Duque).

Se ha venido trabajado por tener una educación en alta calidad desde la primera infancia, y asegurar la permanencia en la educación superior, hay nuevas y mejoradas políticas públicas que apuntan más a las necesidades del individuo, como ser, como persona que necesita ser formada, solo resta esperar que estas políticas públicas educativas den sus frutos.

En Colombia, los entes reguladores de Educación Superior encargados de generar las políticas públicas, mantener un control, inspección y vigilancia son:

Ministerio de Educación Nacional (MEN),
Consejo Nacional de Educación Superior CESU,
Comisión Nacional para el Aseguramiento de la Calidad de Educación Superior CONACES,
Consejo Nacional de Acreditación CNA,
Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES),
Departamento Administrativo para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS),
Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES),
Instituto Colombiano de Crédito Educativo y Estudios Técnicos en el Exterior (ICETEX),
Fondo de Desarrollo de la Educación Superior - FODESEP.

En el artículo "Análisis del estado actual de las políticas en educación superior en Colombia" escrito por Claudia Restrepo y Jaider Londoño (2014), plantean un análisis de las políticas de educación superior en Colombia y su normatividad:

En Colombia, a partir de la Ley 30 de 1992 se han elaborado un sinnúmero de directrices con respecto a la educación superior, que pareciera son efímeras o pasajeras, sin embargo, muchas de ellas están cargadas de efectos y factores anuladores de la práctica pedagógica, del quehacer del pedagogo, el estudiante y las mismas IES, lo que indica que tan solo han sido voluntad legislativa, olvidando las urgencias que existen y las tendencias de la educación superior que presenta el país. En este sentido, se plantea la siguiente pregunta problema ¿cuál es el estado actual de las políticas de educación superior en Colombia? (Restrepo & Londoño, 2014).

Una de las conclusiones de este documento, es que en el país existe mucha normatividad sobre políticas públicas, empezando por la ley 30 de 1992, pero pensadas a manera de organización y no desde el punto de vista formador, que es lo que en últimas se necesita para satisfacer las falencias educativas de una comunidad, con inclusión, permanencia, calidad y equidad.

Para los autores es claro que existen muchos vacíos en los documentos que sustentan las políticas públicas en el país, en cuanto a política pública, pedagogo, instituciones de educación superior y estudiante (P.9)., así mismo:

Cabe señalar que organizaciones como la OCDE y el Banco Mundial (2012) han evaluado las Políticas Públicas de Educación Superior en Colombia, a partir de categorías, tales como: cobertura, calidad, financiación, internacionalización, entre otras, pero no se ha abordado el tema de los referentes directamente implicados en los procesos de enseñanza y aprendizaje en Educación Superior, los cuales relacionaremos con los ejes fundamentales de la Educación Superior en Colombia para dar respuesta a las políticas y tendencias actuales de la formación profesional (Restrepo & Londoño, 2014. P.2).

En la ley 30 de 1992, en su artículo 53, se crea el consejo Nacional de Acreditación:

Artículo 53. Créase el Sistema Nacional de Acreditación para las instituciones de Educación Superior cuyo objetivo fundamental es garantizar a la sociedad que las instituciones que hacen parte del Sistema cumplen los más altos requisitos de calidad y que realizan sus propósitos y objetivos.

Es voluntario de las instituciones de Educación Superior acogerse al Sistema de Acreditación. La acreditación tendrá carácter temporal. Las instituciones que se acrediten disfrutarán de las prerrogativas que para ellas establezca la ley y las que señale el Consejo Superior de Educación Superior (CESU)(Congreso de la República, 1992).

Las Instituciones de Educación Superior en el país, están trabajando junto con el Consejo Nacional de Acreditación CNA, para poder brindar una educación de alta calidad en el país, proceso que no es obligatorio para las IES, pero ya existe un gran número de universidades tanto a nivel tecnológico como profesional, que cumplen con los lineamientos establecidos para tener esa “alta calidad” que requiere la educación en Colombia.

En la publicación de empresarios por la educación E x E “Ideas para tejer. Reflexiones sobre la educación en Colombia 2010-2018”, distribuida en cuatro capítulos así, como se ve en la tabla No.4:

Tabla 4. Distribución de capítulos "Ideas para tejer" reflexiones sobre la educación en Colombia 2010-2018.

Capítulo 1	Tejido roto; inequidades en la educación.
Capítulo 2	Tejer saberes, aprendizajes con sentido
Capítulo 3	Soltar el nudo; financiación del sistema educativo.
Capítulo 4	Ideas para tejer. Reto 1: Fortalecer la descentralización. Reto 2: fortalecer la inversión privada en educación. Reto 3: Visibilizar, valorar la diversidad y superar la inequidad. Reto 4: Garantizar el derecho a aprender. Reto 5: Resolver la incertidumbre sobre la suficiencia y la distribución de los recursos económicos. Recomendaciones a programas específicos.

Fuente: (Empresarios Por La Educación, 2018)

En este escrito se plantea que Colombia debe ser la más educada para el año 2025, donde se mejoren las condiciones de todos los estudiantes sin importar su origen, procedencia, estrato, etnia entre otros, generando que el país sea más productivo.

Lo que se podría lograr si se garantiza el derecho a la educación, manteniendo ciertas condiciones de igualdad. Este documento plantea posturas similares al acuerdo 2034 del cual se hablará más adelante.

En el artículo escrito por German Castaño y Lucelia García “Una revisión teórica de la calidad de la educación superior en el contexto colombiano” (2012) analizan la educación superior desde el entorno mismo de cada institución, menciona conceptos de calidad y presenta algunas tendencias y retos en la calidad de la educación superior, como se ve en la tabla No.5:

Tabla 5. Tendencias en la calidad de educación superior.

La primera tendencia	A la que se refiere es la demanda creciente de estudiantes, lo que ha provocado la diversificación de las ofertas educativas; esto podría explicar una de las características de la educación superior en América Latina que menciona Brunner (2010) y es el crecimiento explosivo de la educación superior privada.
Segunda Tendencia	Señalada por Luengo (2003), es un nuevo esquema de financiamiento, lo que ha representado alteraciones entre las relaciones de educación superior pública y los entes gubernamentales.
Tercera tendencia	Según Luengo, son los sistemas de evaluación, acreditación y rendición de cuentas, ligados al financiamiento. La presión generada por la demanda trae una necesidad de expansión de la educación superior, lo que se ha visto reflejado en la falta de calidad de los servicios educativos.
Cuarta tendencia	Hace referencia a las garantías de calidad y acuerdos de acreditación internacionales.
Quinta tendencia	A la que hace referencia Luengo (2003) es: El tema de la reforma de los contenidos que le permitan a los egresados universitarios mayores oportunidades en su inserción al mercado de trabajo, lo que ha conducido a dos rutas: la especialización del conocimiento dada su acelerada producción y refinamiento, y el surgimiento de nuevos campos interdisciplinarios y multidisciplinarios

Fuente: (Castaño & García, 2012).

El documento menciona tensiones, retos y desafíos, los cuales son tomados del informe "La educación encierra un tesoro, de la de la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI de la UNESCO", por Jacques Delors (1997), que se enuncian en la tabla No.6:

Tabla 6. Tensiones, marco de los retos y desafíos de la Educación.

Tensión entre	Descripción
1. Lo mundial y lo local	Se plantea el desafío de ser ciudadano del mundo sin perder las raíces.
2. Lo universal y lo singular	La cultura se está globalizando progresivamente, encontrando localismos globalizados que hacen de aspectos que antes eran locales internacionales, amenazando el desarrollo individual enmarcado en las costumbres y tradiciones de una población o país poniendo en peligro la identidad debido a la uniformidad que se busca con la globalización.
3. Tradición y modernidad	Por ejemplo, la adopción de nuevas tecnologías
4. El largo plazo y el corto plazo	Alimentada hoy en día por el predominio de lo efímero e instantáneo, donde se piden respuestas y soluciones rápidas, mientras que muchos problemas requieren estrategias

concertadas y negociadas como en el caso de la generación de políticas educativas.

5. La indispensable competencia y la preocupación por la igualdad de oportunidades	Aspecto que desde comienzos del siglo XX ha sido tema para la generación de políticas económicas, sociales y educativas.
6. El desarrollo de los conocimientos	y las capacidades de asimilación del ser humano.
7. Lo espiritual	y lo material.

Fuente: (Delors, 1997)

Analizando lo planteado por Delors en 1997, se aplica actualmente, porque son retos y desafíos a los cuales se sigue enfrentando la educación en Colombia, para poder brindar esa anhelada calidad y lo más importante mantenerla con todo lo que ello involucra, elementos que ya se han nombrado varias veces en este escrito como equidad, globalización, cobertura, tecnologías de la información, planta docente, bienestar, permanencia, entre otros.

En Colombia, El CESU, ha elaborado diferentes documentos, en conjunto con especialistas en educación, uno de los últimos, es el acuerdo 2034, una propuesta de política pública para la excelencia de la educación superior en Colombia, en el escenario para la paz, donde se plantea ¿Cuál debe ser la educación superior que el país debe tener para alcanzar total cobertura, alta calidad, inclusión social, regionalización, integración social e interacción global? (Acuerdo Superior 2034, 2014).

Como se muestra en el capítulo uno “La educación superior en Colombia Una revisión de su normatividad” escrito por Oro de Ofir García y Alicia Martínez en el libro “Estudios de desarrollo económico y social: Una perspectiva de la investigación desde la educación superior”, El documento se divide en seis capítulos que son resumidos en la tabla No.7. (García & Martínez, 2018).

Tabla 7. Estructura del Acuerdo 2034.

Capítulos	Descripción
Capítulo I	Presentación del documento.
Capítulo II	Antecedentes y la metodología seguida para llegar a proponer los lineamientos de política pública para la educación superior.
Capítulo III	Panorama general, descriptivo y estadístico acerca de la situación actual de la educación superior en el país.
Capítulo IV	Muestra los diez grandes temas definidos por el CESU, elementos de contexto y los principales problemas nodales que los afectan.
Capítulo V	Misión y Visión del Sistema de Educación Superior para el año 2.034. Se concretan las aspiraciones que se deben alcanzar y las propuestas de

lineamientos de política pública que se deben acometer relacionados con cada uno de los temas propuestos.

Capítulo VI	Se desarrolla la visión prospectiva y un plan estratégico para 2034; una hora de ruta para el corto, mediano y largo plazo y se brindan unos comentarios finales y recomendaciones derivadas de este documento.
Capítulo VII y VIII	Amplia bibliografía de la totalidad de documentos aportados y revisados en el proceso de construcción del Gran Diálogo Nacional, así como gráficos anexos.

Fuente: (Acuerdo Superior 2034, 2014)

Es así como, en este acuerdo se plantean puntos expresados por diferentes autores como Carlos Vasco, pretendiendo apuntar a una educación no solo de calidad, sino con equidad y cobertura, donde el Gobierno debe ser el principal protagonista, con inversión económica, ejerciendo vigilancia a través de sus diferentes entes de control.

Por ello es tan importante que se den a conocer las diferentes políticas públicas, para que los principales actores puedan tener una participación activa, generando diversas opiniones con el fin de realizar debates en los que se puedan concretar aportes significativos, que terminen en planteamientos de políticas educativas a favor de la sociedad.

Las políticas públicas educativas, deben ser enfocadas a resolver los problemas más puntuales que presenta la sociedad, si bien es cierto el acuerdo 2034 cubre 10 Ejes fundamentales, el gobierno debe propender para que se implementen en forma clara las diferentes estrategias allí planteadas, garantizando mayor inversión económica y social.

Conclusiones

En Colombia el Gobierno es el que aprueba las políticas públicas previa propuesta de los involucrados (representantes del Gobierno por un lado y líderes de la sociedad por el otro), aunque se debe tener participación ciudadana para llegar a elaborar las propuestas que podrían ser políticas públicas, la palabra final la tiene el Gobierno, pues es el que tiene mayor dominio político, el resto de los participantes pasa a un segundo plano.

De acuerdo con lo planteado por Carlos Vasco, se pretende articular la educación preescolar, la primaria, la media vocacional y la educación superior, para pasar a trabajar por competencias, cumpliendo con lo propuesto por el gobierno, que intenta que la educación sea de calidad, que haya cobertura y equidad en todo el territorio nacional. Algo que se logrará cuando según Vasco “se vea la educación como una inversión social y no como un negocio”.

Las políticas públicas educativas, se deben plantear para satisfacer una necesidad social,

en este caso puntual y es que se garantice la educación de calidad para todo el territorio nacional, cumpliendo con cobertura, equidad, tecnología e innovación, globalización, entre otros, pero, sobre todo, en la educación superior, el fácil acceso y la permanencia.

En el acuerdo 2034, son 10 los grandes ejes fundamentales y más de cien políticas que apuntan a que Colombia sea uno de los países más educados, donde se tenga en cuenta la equidad, la calidad educativa y la productividad.

En la actualidad Colombia, debe formular políticas públicas educativas debido a la creciente demanda de personas desescolarizadas, de igual forma, tener en cuenta el informe publicado en la página de la OCDE Mejores políticas para una vida mejor, titulado "La OCDE sostiene que es necesario redoblar los esfuerzos para mejorar la equidad en la educación" publicado el 11 de septiembre de 2019, donde se hace especial énfasis en que los gobiernos deben invertir más en la educación, desde su primera infancia, garantizando el ingreso y permanencia a la educación superior.

BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo Superior 2034. (Julio de 2014). CESU. *Acuerdo Superior 2034 Julio de 2014*, 185. Bogotá, Colombia: Ministerio de Educación Nacional. Recuperado el 24 de 10 de 2019

Asociación De Academías De La Lengua Española. (2019). *Real Academia Española*. Recuperado el 15 de 10 de 2019, de <https://dle.rae.es/?w=equidad&m=form>

Castaño, G., & García, L. (Mayo - Agosto de 2012). Una revisión teórica de la calidad de la educación superior en el contexto colombiano. *Educ. Educ.*, 15(2), 219-243. Recuperado el 2 de 10 de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/eded/v15n2/v15n2a05.pdf>

Congreso de la República. (28 de 12 de 1992). Ley 30. *Ley 30 de 1992 por el cual se organiza el servicio público de la Educación Superior*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 6 de 10 de 2019, de https://www.cna.gov.co/1741/articles-186370_ley_3092.pdf

Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 1 de 10 de 2019, de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Documents/Constitucion-Politica-Colombia.pdf>

- Coraggio, J. (1998). Investigación educativa y decisión política. El caso del Banco Mundial en América Latina. *Perfiles Educativos*, 20(79-80), 43-57. Recuperado el 25 de 09 de 2019, de https://fceia.unr.edu.ar/images/PDF/biblioteca/Universidad_estado_sociedad/Inv_educativa.pdf
- Delors, J. (1997). *La Educación encierra un tesoro, informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI*. Recuperado el 5 de 10 de 2019, de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000109590_spa
- Empresarios Por La Educación. (septiembre de 2018). Ideas para tejer. Reflexiones sobre la educación en Colombia 201-2018. *Desenredar la madeja*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 2 de 10 de 2019, de file:///D:/DOCUMENTOS%20FIR/Downloads/Ideas_para_tejor_Lanzamiento.pdf
- García, O., & Martínez, A. (2018). La Educación Superior en Colombia una revisión de su normatividad. En J. M. Alicia del pilar Martínez Lobo, *Estudios de desarrollo económico y social. Una perspectiva de la investigación desde la educación superior*. (pág. 146). Bogotá, Colombia: Universidad ECCI. Recuperado el 24 de 10 de 2019, de https://www.ecci.edu.co/es/Bogota/estudios-de-desarrollo-economico-y-social-una-perspectiva-de-la-investigacion-desde-la-educacion?language_content_entity=es
- Lerma, C. (2007). *El derecho a la educación en Colombia*. Buenos Aires, Argentina: Foro latino de políticas educativas FLAPE. Recuperado el 1 de 10 de 2019, de <http://flacso.redelivre.org.br/files/2012/08/837.pdf>
- Ministerio de Educación Nacional. (20 de Julio de 2009). *MINEDUCACION*. Obtenido de www.mineduacion.gov.co: <http://www.mineduacion.gov.co>
- OCDE. (11 de 09 de 2019). *OCDE Mejores políticas para una vida mejor*. Recuperado el 15 de 10 de 2019, de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/laocdesostienequeesnecesariodoblarlosesfuerzosparamejorarlaequidadenlaeducacion.htm>
- Restrepo, C., & Londoño, J. (2014). Análisis de estado actual de las políticas en educación superior en Colombia. (U. S. Tomas, Ed.) *Repositorio Institucional Universidad Santo Tomas*, 11. Recuperado el 30 de 09 de 2019, de <http://hdl.handle.net/11634/4709>
- Roth, A.-N. (2009). *Políticas Públicas Formulación, Implementación y Evaluación*. Bogotá, Colombia: Ediciones Aurora. Recuperado el 15 de 9 de 2019, de http://uca.edu.sv/mcp/media/archivo/f5abaa_evaluacionpoliticaspublicasroth.pdf
- Salazar, C. (2009). La Evaluación y el Análisis de Políticas Públicas. *Opera*(9), 23-51. Recuperado el 20 de 9 de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/675/67515007003.pdf>
- Torres, Jaime; Santander, Jairo. (2013). *Introducción a las políticas públicas: Conceptos y Herramientas desde la relación Estado y Ciudadanía*. Bogotá, Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Vasco, C. (10 de Marzo de 2006). Siete retos de la educación colombiana 2006 - 2019. Medellín, Colombia.
- Velásquez, R. (2009). Hacia una nueva definición de política pública. *Desafíos*(20), 149-187. Recuperado el 13 de Febrero de 2018, de <file:///D:/DOCUMENTOS%20FIR/Downloads/433-1513-1-PB.pdf>



CAPITULO 9

DESARROLLO ECONÓMICO Y COMPETITIVO EN EL SECTOR AGRÍCOLA DE LA INDIA Y COLOMBIA. UN ANÁLISIS COMPARATIVO

Como citar este Capítulo

López Rodríguez, Grisales Franco, Marengo González, Peña Camilo, & Sastoque Rodríguez, (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos Desarrollo económico y competitivo en el sector agrícola de la India y Colombia. Un análisis comparativo. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.

Desarrollo económico y competitivo en el sector agrícola de la India y Colombia. Un análisis comparativo

Campo Elías López-Rodríguez ¹
Diana Paola Grisales-Franco ²
Yuranis Marengo-González ³
Angie Vanessa Peña-Carrillo ⁴
Ricardo Sneider Sastoque-Rodríguez ⁵

Resumen

Este estudio desarrolla una caracterización del sector agropecuario como una de las principales actividades de la economía a nivel mundial para el desarrollo y crecimiento económico global. Así mismo, se profundiza en la incidencia de la competitividad y la innovación como pilares de desarrollo económico. A partir de un enfoque de tipo cualitativo, de un diseño no experimental y desde una objetiva revisión documental se lleva a cabo una comparación estadística entre Colombia y la India resaltando elementos como el PIB anual y per cápita al año 2018 y el aporte del sector agrícola, el nivel de empleabilidad en el sector agrícola, la relación entre balanza comercial y PIB, así como también la posición en el ranking de competitividad e innovación mundial que tienen estos dos países estudiados.

Palabras claves:

Desarrollo económico, sector agrícola, producto interno bruto, competitividad.

Abstract:

This study develops a characterization of the agricultural sector as one of the main activities of the world economy for global economic development and growth. Likewise, it deepens the incidence of competitiveness and innovation as pillars of economic development. Based on a qualitative approach, a non-experimental design and an objective documentary review, a statistical comparison between Colombia and India is carried out highlighting elements such as annual and per capita GDP per year 2018 and the contribution of the agricultural sector, the level of employability in the agricultural sector, the relationship between trade balance and GDP, as well as the position in the global competitiveness and innovation ranking of these two countries studied.

¹ Magister en Gerencia Estratégica de Mercadeo. Docente investigador del programa de Comercio Internacional, adscrito al grupo de investigación GICEA de la Universidad ECCI, Cra. 19 No. 49-20, Bogotá, Colombia, Código Postal 111311. Correo de contacto: elopezr@ecci.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4061-2979>

² Profesional en Comercio Internacional, Universidad ECCI, Bogotá Colombia. Correo: dianap.grisalesf@ecci.edu.co

³ Profesional en Comercio Internacional, Universidad ECCI, Bogotá Colombia. Correo: yuranis.marengog@ecci.edu.co

⁴ Profesional en Comercio Internacional, Universidad ECCI, Bogotá Colombia. Correo: angiev.penac@ecci.edu.co

⁵ Profesional en Comercio Internacional, Universidad ECCI, Bogotá Colombia. Correo: ricardos.sastoquer@ecci.edu.co

Keywords:

Economic development, agricultural sector, gross domestic product, competitiveness.

Introducción

Al hablar del sector agrícola es importante destacar que este se refiere a la actividad de producción y cultivo de materias primas de origen vegetal y es una de las actividades más importantes en el sector rural (Muñoz-Ovalle, 2011). Partiendo de la conceptualización brindada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se dice que más del 80% de la población mundial subsisten gracias al sector agrícola (Cortés, 2013); por ello, cobra sentido analizar cómo este sector se puede considerar en algunas economías como precursor del desarrollo económico y social de países cuyo modelo considera este sector como protagonista en el producto interno bruto (PIB) nacional.

A pesar de ser el sector primario de la economía, es la fuente para los países en vías de desarrollo, ya que de allí se fundamenta la base de su proceso económico, por lo que se determina en América Latina, una de las regiones más ricas del mundo en recursos naturales, un aumento de los precios de productos agrícolas y materias primas en los mercados internacionales durante los últimos años, y es vista con mayor interés por un creciente número de empresarios que a pesar de ser un mercado que puede representar riesgo (Sánchez, 2018).

En el caso del sector agrícola de India, actividad que tiene una representación en su economía del 17.4%, ocupando el segundo lugar en producción agrícola en el mundo, superado solo por China (Brics, 2016). La ventaja que presenta este país frente al mercado es la posibilidad de diversificar sus productos finales, ya que se han dedicado a exportar productos con valor agregado y no solo commodities como usualmente lo hacen los países en desarrollo. Se considera tan importante este sector económico que la India es uno de los países miembro del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) organismo que se preocupa por el desarrollo de políticas públicas que favorezcan el sector agrícola en el mundo (Ripol y Cerdeño, 2003).

Expuesto lo anterior resulta conveniente desarrollar un análisis comparativo del desarrollo económico y competitivo en el sector agrícola entre la India y Colombia, esto con el fin de obtener un referente actualizado y objetivo, por tal motivo a lo largo del proceso investigativo se busca dar respuesta a la siguiente formulación del problema: ¿cuáles son las realidades respecto al desarrollo económico y competitivo en el sector agrícola de la India y Colombia? Con el fin de dar respuesta a este interrogante se propone realizar un análisis documental sobre la relevancia del sector agrícola en los países objeto de comparación y caracterizar el desarrollo económico y competitivo que ha aportado el sector agrícola a estos países.

Referentes teóricos

Desarrollo económico y sector agrícola

Para Petit-Primera (2013) la economía del desarrollo o desarrollo económico se formaliza para los años cuarenta, esto debido a que los autores clásicos no se interesaron en el atraso que ciertas áreas de la sociedad presentaban por lo que la expresión el desarrollo económico se conoció hasta después de la segunda guerra mundial. Gómez y Bustelo (1992) por su parte complementan este enunciado afirmando que después de finalizar la segunda guerra mundial, se pensó en desarrollo económico formalmente por primera vez a causa de la escasez de producción y abundancia de miseria que no solo afectó a Europa; el concepto de desarrollo se hereda de la noción occidental del progreso que surge en Grecia Clásica y se consolida en el periodo de la ilustración, donde se buscaba regular el orden social, buscando el beneficio de la gente en general (Trejos, 2009).

Mientras que Lewis (1957) considera que el desarrollo económico ocurre más rápido en donde los hombres están al acecho de la oportunidad económica para aprovecharla en cuanto se presente ya que se evidencia una voluntad de progreso en el individuo que impulsa el desarrollo en común; sin embargo Gómez y Bustelo (1992) presentan que las teorías no son asertivas en su totalidad, ya que algunos países en desarrollo aún presentan escasez, es decir, llevan décadas sin presentar desarrollo en sus economías a pesar de que cuenten con las oportunidades de desarrollo. En síntesis, todo se reduce a lograr que, de acuerdo a los indicadores convencionales de desempeño, la economía crezca de manera sostenida, a una tasa lo más elevada posible, hasta lograr superar un determinado monto de producto por habitante (Döll, 2017).

Castillo-Martín (2011) asevera que el desarrollo es un proceso integral, socioeconómico, que implica la expansión continua del potencial económico, el auto sostenimiento de esa expansión en el mejoramiento total de la sociedad. Este debe ser un proceso nuevo de producción, que implica nuevas combinaciones de factores, que necesita financiamiento por dinero creado, y es función de las variables y funciones previas del sistema económico, sino que supone un cambio progresivo en la historia de la economía real, y que pretende concentrarse en algunos sectores del sistema económico (Bassoco y Norton, 1975).

Garófoli (1995) considera que el intercambio de bienes y servicio establece relaciones económicas comerciales, ellas finalmente generan las comunidades busquen su crecimiento y desarrollo económico, ya que se expande más allá de sus límites territoriales, los flujos de capital y de mano de obra constituyen un proceso fundamental para la economía; como lo argumentan Johnston y Mellor (1962) cuando se produce concentración territorial, el desarrollo económico se polariza y no genera los resultados esperados, lo que permite un desarrollo sostenible es una expansión industrial, que llegue preferiblemente a los grandes centros urbanos; sin

embargo, es importante identificar que la sobrepoblación destinada para la mano de obra nunca será absorbida dentro un sector capitalista incluso durante una fase expansionista, por esto es importante mantener un equilibrio (Kay, 1991).

Por otra parte, Artaraz (2002) hace reflexión en el tema ambiental ya que para ella la compatibilidad del crecimiento económico frente al equilibrio ecológico no existe, el desarrollo económico ha traído consigo una degradación ambiental a escalas inimaginables donde el agotamiento de los recursos se está convirtiendo en un problema global. García-Henao (2011) indica que si bien hace muchos años se consideraba los recursos ambientales permitían generar las condiciones necesarias para lograr un desarrollo económico dinámico; sin embargo, no se tuvo en cuenta el largo plazo y sus consecuencias, es por ello que ahora debe hablarse de desarrollo económico sostenible. Por todo lo anterior es importante tener como pilar base para el desarrollo la comunidad, empezando desde las ciudades comarcas o regiones, que permita tener un sistema de producción eficiente, mejorando la competitividad y productividad, haciendo uso sostenible de los recursos disponibles (Pérez, 2006).

Perfetti (2013) afirma que la agricultura históricamente ha tenido una fuerte importancia en el proceso de desarrollo económico de los países y es considerado subsidiario al desarrollo de los demás sectores económicos como de la industria y lo que se también se destaca es que todo esto se da bajo la premisa de que lo urbano está por encima de lo rural; a su vez los elementos característicos del sector agrícola en especial de los países en desarrollo este sector es una actividad de grandes proporciones y en algunos la única actividad económica presentado entre el 40 y 60% del ingreso nacional y el otro elemento es el descenso en la participación de la inversión en este sector aun cuando se dedican grandes cantidades de recursos a este sector (Johnston y Mellor, 1962).

Así mismo Janvry (2009) afirma que la agricultura es importante para: la reducción de la pobreza, rural y total, lo que a su vez se traduce en que este sector ayuda a combatir el hambre y garantizar seguridad alimentaria de los países que explotan este sector; de hecho este sector desde el año 2009 como lo plantea De Brauw (2019) está presente en los temas de discusión económica mundial en la cual se destacan la globalización, las cadenas de valor integradas, las rápidas innovaciones tecnológicas e institucionales, y las restricciones ambientales haciendo que los pequeños productores juegen un papel muy importante para alcanzar mejoras en la nutrición y la salud, promover la adaptación y la mitigación al cambio climático, construir resiliencia en las sociedades afectadas por conflictos y reducir las brechas de género (García-Henao, 2011).

Piñeiro (2009) dice que el papel de este sector en la economía ha sido reforzado y visibilizado ante la población y los políticos por la apertura a los mercados internacionales, el crecimiento de la demanda de alimentos y materias primas, acentuado en los años finales del siglo XX por el sostenido desarrollo de los países del Lejano Oriente; y de esta forma de tener una visión de la agricultura basada en actividades primarias a una mucho más amplia en la que se

crea al conjunto de encadenamientos e interrelaciones (globalización e internacionalización) que se establecen a partir de ella (Trejos, 2009). Este conjunto de actividades económicas ha pasado a denominarse como sector agroalimentario, complejo agroindustrial o agricultura ampliada (Perfetti, 2013).

Piñeiro (2009) afirma que las realidades presentes y las expectativas futuras acerca del curso de la producción agropecuaria han traído consigo la revaloración de los recursos naturales con excesivo potencial agrícola. Lo que representa países en desarrollo que, tienen, junto a un conjunto no muy amplio de naciones, una dotación de recursos agrícolas no explotados plenamente (Perfetti, 2013). Inclusive, teniendo en cuenta las perspectivas de crecimiento de la demanda mundial de alimentos para el año 2050 (Conforti, 2011), en las naciones exportadoras la producción agropecuaria podría convertirse en un pilar central del desarrollo económico. Esto hace necesario que los países definan y estructuren las herramientas y las políticas de desarrollo de la agricultura y de los territorios que realicen una utilización plena y sostenible de los recursos naturales, al tiempo que aseguren un crecimiento dinámico junto a un desarrollo social con equidad (Cortés, 2013).

Como lo afirma Callen (2008) este sector se caracteriza por la estacionalidad, por ser geográficamente dispersas y sometidas a riesgos e incertidumbres mayores que en cualquier otro sector, asociadas no solo al nivel del producto esperado, sino a las consecuencias del clima y a la exposición de plagas, cuyo control depende de condiciones agroecológicas específicas y los riesgos de las pérdidas pos cosecha, así mismo menciona Marchant (2014) por la dificultad de recombinar los factores de producción una vez empezado el proceso productivo, significa que la elasticidad de la producción agrícola sea baja en el corto plazo y que se requiera tiempo para responder a los incentivos y a las nuevas condiciones propiciadas por los mercados y por tal motivo la manera de lograr el ajuste a los precios es diferente al de otros sectores. En la agricultura, una baja del ingreso se significa reducción de precios, pero en la industria se traduce en desempleo y en descenso del producto en tanto que los precios bajan mucho menos (Brics, 2016).

Para Ronderos (2010) la IED representa una acción dentro de varias maniobras de expansión mundial de algunos emprendimientos empresariales capaces de localizarse fuera de sus economías de origen, esto beneficia a aquellos países que no cuentan con los suficientes recursos en tecnología, recursos financieros y demás. Por ello la IED permite el crecimiento económico de un país, así mismo la integración global donde se plantean significativas oportunidades y desafíos para el desarrollo, permitiendo que los países también puedan aprovechar las oportunidades del comercio e insertarse en las redes de los sistemas de producción (Mortimore, Vergara y Katz, 2001). La IED también permite un impacto favorable sobre el nivel de empleo, aumentando la productividad y eficiencia, generando competitividad para acceder a nuevos mercados tanto en el mercado nacional como el mercado externo, lo cual esto también puede generar niveles crecientes en cuanto al nivel de vida de la población (Ronderos, 2010).

En los años noventa los países en vía de desarrollo contaban con economías cerradas y con una importante intervención del estado, con la caída del muro de Berlín y la desintegración de la unión soviética se produjeron variables que favoreció el libre mercado, permitiendo una expansión política comercial atrayendo capitales de inversión (Vilela y Noronha, 2018). Los patrones sectoriales de destino de la IED se van orientando cada vez más hacia la explotación de los recursos naturales, en particular en América del Sur, es importante considerar la magnitud de los fondos, focalizando las diferentes características que permitirán el buen desarrollo de los proyectos de inversión (Castillo-Martín, 2011). De acuerdo a ello los proyectos que dependen de la IED pueden generar un riesgo, un costo y una utilidad. Por esto la decisión de invertir en un país no puede ser tratada de forma genérica, pues cada proyecto debe ser evaluado individualmente y como parte de un portafolio con un objetivo previamente determinado (Cortés, 2013).

La IED puede darse también a través de contratos que generen la colaboración, concesión o servicios entre el inversionista y la empresa, mediante la adquisición de inmuebles en el país de destino de la inversión, lo cual estos aportes pueden hacerse directamente en divisas que posteriormente son convertidas en moneda local, o en especie (Pérez, 2006)). Según lo planteado por Mortimore, et al, (2001) la IED lo que busca son mercados eficientes donde se base en explotar economías con relación a la productividad, adquiriendo recursos y capacidades que pueden ayudar a mantener y acrecentar capacidades competitivas en los mercados regionales o globales, como la búsqueda de tecnologías, estructuras organizacionales, acceso a canales de distribución, etc. Como resultado de esta inversión, se establece una relación estratégica de largo plazo entre la empresa inversora y la filial, así como una influencia significativa en la gestión de la empresa (Marchant, et al, 2014).

Hernández-Santé (2014) comenta que la IED también puede tener aspectos negativos donde no solo se basa en temas económicos sino también ambientales, laborales, y demás, ya que en los países receptores llegan empresas que dominan el mercado, donde no se tiene una regulación ante los estándares tanto ambientales como laborales, permitiendo un estancamiento de los países receptores. Al ingresar empresas extranjeras al país receptor se puede presentar que estas mismas compitan con los mercados locales, donde pueden crear un monopolio si estos no trabajan de la mano de las empresas locales (León-Lázaro, 2018). Pese a que la mayoría de los gobiernos presumen del enorme volumen de IED que llega a sus países, esa inversión es una muestra de incapacidad de los empresarios locales de generar sus propios negocios que les posibiliten competir y proporcionar bienes y servicios a los habitantes de la región (Ripol y Cerdeño, 2003).

Perfetti (2013) indica que la inversión nacional y/o extranjera juega un papel muy importante ya que una vez se cuente con un nuevo presupuesto esto se ve reflejado en incremento de cultivos y así mismo mayor generación de empleo. Sánchez (2018) confirma que el sector agrícola ha implementado en sus procesos el tema de la innovación que va desde la preparación del terreno hasta la recolección de la cosecha y durante los periodos de 2006 a 2007 se presentó una disminución marcada de los ingresos de los fondos, registrando \$93.745 millones en 2007

(Ronderos, 2010).

García-Henao (2011) determina que no todos los departamentos cuentan con el mismo porcentaje de participación ya que no todos están enfocados en el sector agrícola, adicionalmente, Janvry (2009) complementa confirmando que el sector agrícola se caracteriza por ser inconsistente en sus niveles de producción, esto teniendo en cuenta las diferentes problemáticas como los altos costos de los químicos, los bajos precios frente al mercado con unos altos costos de producción.

Callen (2008) dice que el producto interno bruto (PIB) mide el valor monetario de los bienes y servicios finales, es decir, los que adquiere el consumidor final producidos por un país en un período determinado, no todas las actividades productivas están reflejadas en el PIB. Por su parte Muñoz-Ovalle (2011) reafirma lo anterior indicando que el PIB mide la cantidad de bienes y servicios finales destinados al consumo final que son objeto de transacción en el mercado, en un período de tiempo determinado. Cabe resaltar que Garofoli (1995) indica que el PIB así como otros indicadores agregados de rentas, son indicadores muy imperfectos del bienestar de una sociedad y, por ello, se han ido proponiendo otra serie de medidas alternativas como evaluar los niveles de vida reales que consiguen las personas así como la satisfacción de las necesidades básicas.

Artaraz (2002) define que la importancia del producto interno bruto (PIB) es que brinda la posibilidad de comparar el comportamiento de una economía año tras año y el rendimiento entre países (Callen, 2008). Por otro lado, se encuentra el PIB per cápita que está diseñado para determinar si el ciudadano promedio de un país está mejor o peor, este refleja cosas que pueden ser importantes para el bienestar general (Bassoco y Norton, 1975). El PIB per cápita es un indicador que muestra cuanto ha mejorado la calidad de vida de las personas y donde se tiene en cuenta la tasa de crecimiento de la población en Colombia (Tovio y Alfaro, 2016).

Trejos (2009) sustenta que la tasa de crecimiento del PIB en Colombia entre el año 2000 y 2006 presentó un crecimiento acelerado; sin embargo, durante el periodo de la crisis mundial el PIB creció en una menor proporción, mostrando recuperación en el año 2010. Sin embargo, en los siguientes periodos la económica Colombia presentó un descenso el cual fue reflejada a partir del 2015 con un porcentaje del 3,1% (ANDI, 2018). Chica, et al, (2016) plantea que esto es debido a la caída de los precios del petróleo, reforma tributaria, alza de los intereses por parte del banco de la república.

Competitividad desde el desarrollo

El desarrollo económico en el país ha tenido transformaciones en cuanto al protagonismo de sus sectores económicos, siendo el sector de los servicios el de mayor representatividad actualmente. Bonet, (2007) plantea que, en una primera etapa de desarrollo, los sectores agropecuario y minero dominan la generación del valor agregado de un país. En las etapas posterior-

res, se inicia el desarrollo de la producción de bienes manufacturados para luego terminar con la consolidación de los servicios.

Se considera que la tercerización es un fenómeno que se acentúa en la medida en que los países alcanzan mayores ingresos. Sin embargo, surge el interrogante frente a la disposición competitiva del sector de los servicios del país en el ambiente internacional, pues “el nuevo orden económico global gira en torno a la internacionalización que se fundamenta principalmente, en la evolución de la dinámica de la tecnología y telecomunicaciones, favoreciendo la reducción de los costos de transacción y un mejor flujo del comercio exterior en condiciones de competitividad” (Ruíz y Slaghekke, 2008. p. 61). A la situación mencionada, se le adhiere el hecho de que Colombia es un país con grandes disparidades entre las regiones en términos de ingreso per cápita, provisión de servicios sociales, condiciones de vida e infraestructura (Rueda, 2004).

En la nueva economía global sólo pueden competir los territorios que aprenden, es decir, aquellos capaces de adaptarse a las transformaciones de la estructura productiva mundial, con base en el conocimiento (ampliamente entendido) y su aplicación al sector terciario avanzado, a la industria de alta tecnología y/o a la agricultura comercial (Silva-Lira, 2005), y este aprendizaje se relaciona de forma relevante con los elementos que convierten a un estado en una región competente. Frente a lo anterior, Ruíz y Slaghekke (2008) plantean que “la transición de un modelo de desarrollo endodirigido que exigía la intervención del estado, a un modelo de desarrollo aperturista, ha evidenciado la importancia para la región Latinoamericana de llevar a cabo nuevos patrones de inserción en los mercados internacionales, en donde la competitividad entra a jugar un papel importante en este contexto” (p. 66). Existen diversas concepciones de Competitividad se plasman en la tabla 1.

Tabla 1. Concepciones de Competitividad

Concepción	Característica
Conceptos desde el punto de vista de la firma o sector.	Toma como referencia al sector industrial caracterizándose por la productividad de las empresas, teniendo elementos de eficacia (Porter, 1996)
Conceptos que toman como referencia la economía nacional:	Se centra en la Economía de un país y señala que la competitividad es la capacidad de una nación de responder a los retos de internacionalización y globalización de una forma sostenible (Bernal y Laverde, 1995).
Conceptos que toman en cuenta el nivel de vida.	El grado en el cual el país en un mercado globalizado es capaz de producir bienes y servicios que satisfagan las exigencias del mercado y simultáneamente mejore la calidad de vida de sus habitantes (Morales y Castellanos, 2007)

Fuente: Elaboración propia con base en Morales y Castellanos (2007)

Cumplido (2004) plantea que la empresarialidad se puede entender como el “conjunto de cualidades dinámicas de empresas y empresarios que influyen en la configuración de un determinado tipo de estructura productiva y empresarial y, por tanto, en el crecimiento y el desarrollo económicos de cualquier territorio” (p. 174). Según Sánchez (2011) los siguientes son los principios de la competitividad mundial más representativos se plasman en la tabla 2.

Tabla 2. Principios de la Competitividad Mundial

I. Actividad económica
1. La prosperidad de un país refleja su actividad económica pasada. La competencia gobernada por las fuerzas del mercado mejora la actividad económica de un país.
3. Cuanta más competencia exista en la economía doméstica, más competitivas serán las empresas domésticas en el exterior.
4. El éxito de un país en el comercio internacional refleja la competitividad de su economía doméstica (siempre que no existan barreras comerciales).
5. La apertura hacia actividades económicas internacionales incrementa la actividad económica del país.
6. La inversión internacional asigna de forma eficiente los recursos económicos a nivel mundial.
7. La competitividad de las exportaciones a menudo está asociada con la orientación al crecimiento en la economía doméstica.
II. Eficiencia del Gobierno
1. La intervención estatal en las actividades empresariales debería ser minimizada, aparte de crear las condiciones competitivas para las empresas.
2. El Gobierno debería, sin embargo, proporcionar las condiciones macroeconómicas y sociales que hagan previsible y, de esta forma, minimicen los riesgos externos para las empresas.
3. El Gobierno debería ser flexible en adaptar sus políticas económicas a un entorno internacional cambiante.
III. Eficiencia de la empresa
1. La eficiencia en la actividad económica y la capacidad para adaptarse a los cambios en un entorno competitivo son atributos directivos cruciales para la competitividad de las empresas.
2. Las finanzas facilitan las actividades de valor añadido.
3. En un país, un sector financiero bien desarrollado e integrado internacionalmente apoya su competitividad internacional.
4. Mantener un elevado estándar de vida requiere integración con la economía internacional.
5. La capacidad emprendedora es crucial para la actividad económica en sus etapas iniciales.
6. Una mano de obra capacitada incrementa la competitividad de un país.
7. La productividad refleja el valor añadido a corto plazo.
8. La actitud de la mano de obra afecta a la competitividad de un país.
IV. Infraestructura
1. Una infraestructura bien desarrollada, que incluya sistemas empresariales funcionales, apoya la actividad económica.
2. Una infraestructura bien desarrollada también incluye desarrollos en Tecnología de Información y una eficiente protección del entorno.
3. La ventaja competitiva se puede construir sobre la aplicación eficiente e innovadora de tecnologías existentes.
4. La inversión en investigación básica y la actividad innovadora que crea nuevo conocimiento es crucial para un país en una etapa más madura de desarrollo económico.

Fuente: Elaboración propia con base en Sánchez (2011)

Para los países el desenvolvimiento de sus economías es tema de todos los planes de desarrollo, el cual puede estar enfocado o soportado desde dos perspectivas o dos corrientes de pensamiento. Cumplido (2004) propone las siguientes:

- Por un lado, la corriente que se agrupa en torno a la “teoría del crecimiento económico”, que viene teniendo un importante protagonismo desde los años ochenta del siglo XX dentro del cuerpo central de las escuelas de pensamiento económico.
- Por otro lado, la corriente que se agrupa en torno a la “teoría del desarrollo económico”, la cual irrumpió en el análisis económico con mucha fuerza durante la década de los cuarenta, cincuenta y parte de los sesenta del siglo XX, entrando en una etapa de crisis en los años setenta para resurgir de nuevo a partir de los ochenta, en gran parte por la aceptación que obtiene desde entonces el nuevo modelo de desarrollo endógeno.

En la teoría del desarrollo económico se parte de la idea que existe un problema de atraso y pobreza de muchas zonas de la economía mundial y, por tanto, trata de identificar las rutas para el progreso económico a largo plazo de esas zonas atrasadas (Vanegas, et al, 2015), mientras que la teoría del crecimiento se ha preocupado principalmente por la cuantificación del incremento en la producción y los niveles de renta, partiendo además de la realidad de los países desarrollados (Cumplido, 2004).

En términos de desarrollo Económico, el desarrollo local genera un pilar relevante en el alcance de su objetivo; por ello, “este desarrollo como factor de democracia y desarrollo sustentable no surge por casualidad, sino como resultado del estado de situación y como una ruta diferente y alternativa de desarrollo nacional y regional” (Gallichio, 2004. p. 56). En relación con este desarrollo se presentan estas visiones del desarrollo local en la tabla 3.

Tabla 3. Visiones del Desarrollo Local

Visión	Características
Desarrollo local como participación	Para esta concepción, desarrollo local será todo aquel proceso en el que participen actores en la discusión de asuntos de un territorio determinado. Aunque el trabajo según esta concepción ha permitido generar ámbitos y acciones de mejora de la calidad de vida, en la mayoría de los casos, la participación se ha transformado en un fin en sí mismo, sin su necesario vínculo con la producción de visiones estratégicas del territorio, o con visiones que trasciendan el pequeño proyecto o el microemprendimiento.
La visión neoliberal del desarrollo local	Los amplísimos procesos de desarrollo local llevados adelante en la década del han estado teñidos de una lógica de desarticulación del estado nacional y un traslado de competencias, de forma más o menos difusa, a los gobiernos y actores locales.
Desarrollo	En el mismo contexto, se hacía necesario fortalecer los municipios en un nuevo rol, como actores de desarrollo y no ya como meros prestadores de servicios. En ese sentido, y

local como municipalismo	asociado a fuertes procesos de descentralización, se generó una visión de que el desarrollo local pasaba por el desarrollo municipal. Si había un buen municipio, necesariamente iba a haber buen desarrollo local.
Desarrollo local como desarrollo económico local	Una tendencia muy fuerte ha visto al desarrollo local exclusivamente en su dimensión económica. El supuesto básico era que el problema de estas sociedades era de carácter económico, y que las sociedades locales carecían del dinamismo necesario para encarar otras fases del desarrollo.
Desarrollo local como ordenamiento territorial	En general se parte del supuesto de que el territorio no está lo suficientemente ordenado para generar un nuevo modelo de desarrollo y, en distintas modalidades, se promueve una estrategia de construcción de una visión estratégica del territorio, que termina pretendiendo promover procesos de desarrollo local mucho más que procesos de ordenamiento del territorio en sentido estricto.
Desarrollo local como forma de análisis social	Se trata de una visión más «neutra» del desarrollo local, en el sentido que lo ve más como una herramienta de análisis que como un instrumento de cambio social. Es así que este enfoque lo ubica en una dimensión analítico-metodológica, como herramienta definida por un conjunto de variables e indicadores. Diversos estudios se ubican en esta dimensión, sobre todo a partir de la utilización intensiva de sistemas de información geográficos. Estos estudios adoptan, finalmente, un carácter mucho más descriptivo que de herramientas para la acción.

Fuente: Elaboración propia con base en Gallichio (2004).

Metodología

El enfoque investigativo desarrollado fue de tipo cualitativo, el cual se caracteriza por hacer registros narrativos de los fenómenos trabajando con el discurso de la población estudiada donde se parte de la subjetividad para encontrar el significado social del objeto de estudio (Bautista, 2011). El diseño fue no experimental el cual pretende observar y analizar los fenómenos tal y como se desarrollan naturalmente (Hernández, et al, 2014), así mismo, desde una óptica transversal se recopiló información en un momento determinado con el propósito de analizar la realidad actual del desarrollo económico y competitivo en el sector agrícola entre la India y Colombia.

La técnica utilizada fue la revisión documental, que para García (1993) es considerado como el conjunto de operaciones que buscan presentar y representar un contenido y la forma en la que un documento se presenta para facilitar su consulta, como lo afirman Peña-Vera y Pirella-Morillo (2007) la importancia del análisis documental es cada vez más relevante por la cantidad de información que se encuentra actualmente permitiendo indagar diversas fuentes y recursos para el procesamiento de dicha información.

La búsqueda de la información se llevó a cabo por medio de bases de datos de libre acceso como lo es <https://scholar.google.es>, y también en bases de datos suscritas a la biblioteca de

la Universidad ECCI, sede Bogotá, entre las cuales se encuentran, Sciencedirect y EBSCOhost. La ventana de observación para este análisis descriptivo de tipo documental fue del año 1957 hasta la literatura del año 2019. Así mismo, se visitaron bases de datos de libre acceso como lo es google académico también se tuvo acceso a informes entidades como el Banco Mundial, ANDI, DANE, entre otras.

Se utilizaron bases de datos académicas, buscadores y herramientas las cuales se relacionan en la tabla 4.

Tabla 4. Herramientas para el análisis documental

Tipo de fuente	Fuente de información
Bases de datos académicas	<ul style="list-style-type: none"> • EBSCOhost • Sciencedirect
Buscadores y herramientas bibliográficas.	<ul style="list-style-type: none"> • https://scholar.google.com.co/ • www.google.com.co

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las fuentes documentales se determinó la temporalidad y la validación académica como principales criterios de selección, de esta forma se dio inicio a la revisión de la literatura. La distribución del número de fuentes por año de publicación se puede observar en la figura 1.

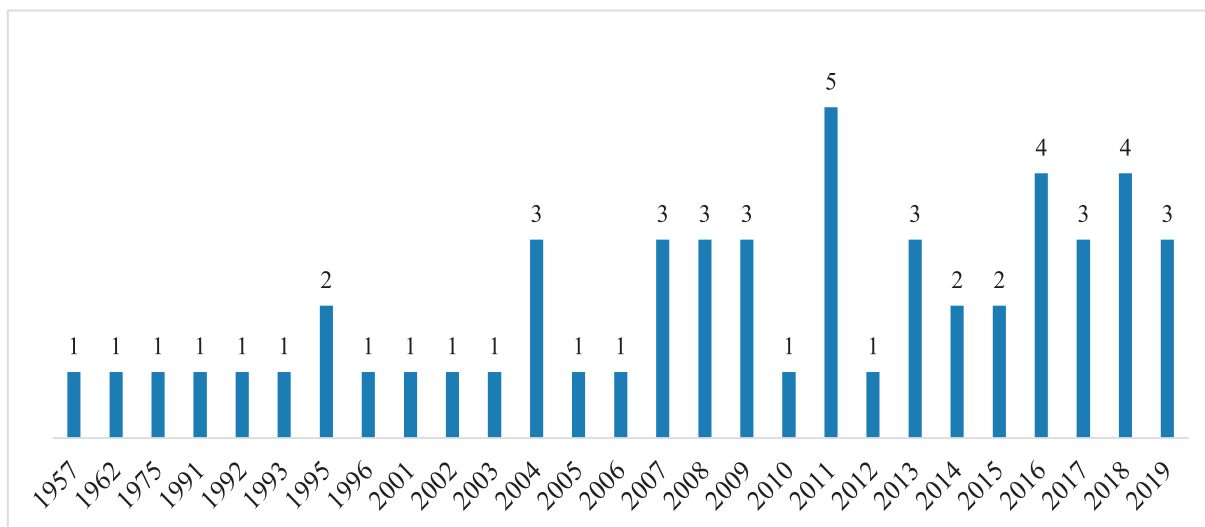


Figura 1. Distribución del número de fuentes por año de publicación

Fuente: Elaboración propia

Resultados

En la figura 2 se relacionan las cifras referentes al desempeño económico de la agricultura en India y Colombia. De allí se evidencia como en la India durante los años 2006 a 2009 el sector agrícola tuvo una participación constante cercana al 16% de la participación en el PIB y a partir del año 2010 incremento en 1% la participación, teniendo como pico más alto el año 2011 con 17.19% de aporte al PIB, lo que contrasta con lo sucedió en años 2012, 2014 y 2015 producto de la contracción de la economía a nivel mundial por situaciones como la crisis del euro, desaceleración de la economía China, lecciones en las principales potencias mundiales y el abismo fiscal creciente en Estados Unidos (BBC, 2012), a pesar de ello, las políticas internas han aportado para que el sector agrícola tome fuerza nuevamente y genere crecimiento para la economía de este país.

Caso contrario en Colombia, donde se evidencia el comportamiento de participación del sector agrícola en el PIB en donde desde el año 2006 la participación de este sector en el PIB ha ido en disfunción con valores aproximados entre el 5% y el 7%, es evidente como este sector que es fundamental para el desarrollo económico de este país no ha generado los resultados que se esperarían en un país con una ventaja comparativa en cuanto al clima, los suelos y la posición geográfica como lo es Colombia (Chica, Tirado y Barreto, 2016).

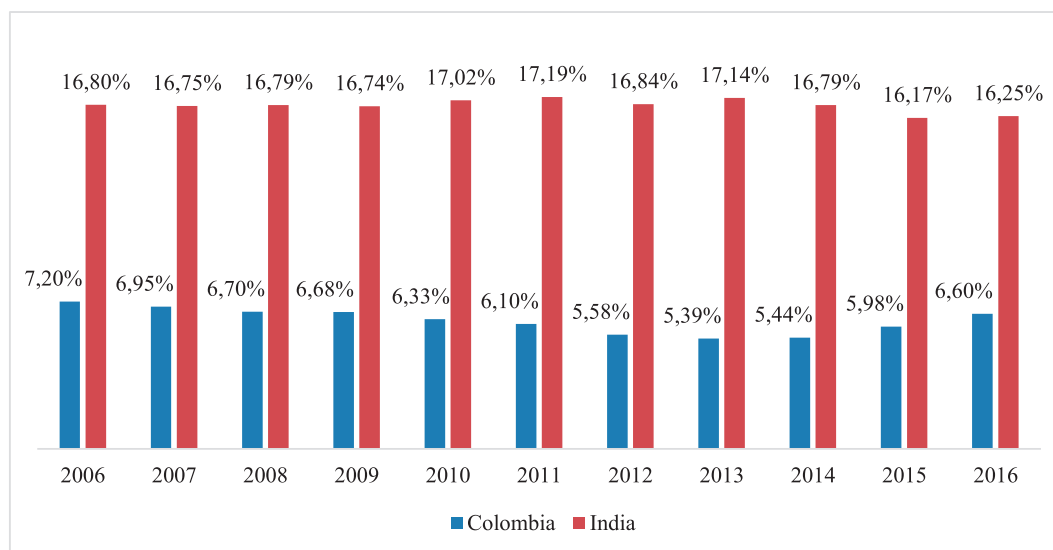


Figura 2. Aporte del sector agrícola al PIB en la India y Colombia entre los años 2006-2016

Fuente: Elaboración propia con base en el Banco Mundial (2019)

El sector agrícola colombiano representa un gran aporte en el desarrollo económico del país; sin embargo, a lo largo del tiempo no ha tenido un crecimiento significativo en sus diferentes regiones. Desde el 2006 se generaron cambios en este sector gracias a la inversión de los recursos financieros por parte de entidades como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social haciendo que en el 2006 se tuviera una participación del 2,4% y en el 2007 del 3,9% en el PIB nacional (ANDI, 2018).

Las regiones que presentan mayor participación en este sector son la región andina con un 32,5% con cultivos permanentes de palma de aceite, región oriental con 28,2% de plátano y caña de azúcar, la región pacífica con 21,8% de cacao y palma de aceite (García-Henao, 2011). Desde el 2015 se presenta la participación de un nuevo producto como lo es el aguacate, cabe resaltar que este son áreas sembradas en periodos anteriores el cual han llegado a la exportación en grandes volúmenes lo que se espera que este se mantenga (ANDI, 2018).

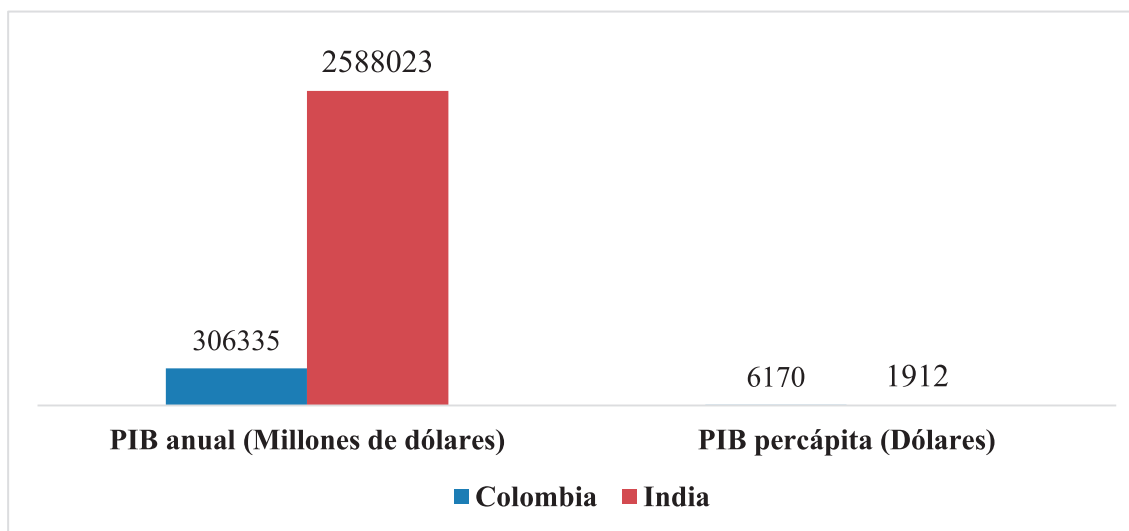


Figura 3. PIB anual y per cápita al 2018 en Colombia y la India.
Fuente: Elaboración propia con base en Datosmacro.com (2019).

En la figura 3 se observa el comportamiento del PIB anual y per cápita presentado en el año 2018 en los países estudiados. Teniendo en cuenta que la capacidad productiva de la India es superior a la de Colombia, la cual solo representa el 11% del PIB indio se evidencia la superioridad en los niveles de producción del país asiático; sin embargo, cabe resaltar que en términos per cápita Colombia supera ampliamente a la India, esto causado principalmente por el número de habitantes de este país, el cual es de 1.352.617.328, a diferencia de Colombia que cuenta con 49.648.685 habitantes (Datosmacro.com, 2019).

Como lo mencionan Vilela y Noronha (2018) el 68.5% de la población de la India vive en zona rural por lo tanto esta actividad económica representa empleo a más de 120 millones de hogares, y emplea al 58% de la fuerza laboral del país (307 millones de indios). Es gracias a esta enorme fuerza de trabajo que la India es el segundo mayor productor agrícola del mundo, detrás de la China. La India es el mayor productor de muchas frutas, leche, especias, carnes, cocos, té, jengibre entre otros, y es el segundo mayor productor de trigo, arroz, azúcar y maní (García-Henao, 2011). Esto ha caracterizado a este país puesto que las políticas indias están encaminadas a desarrollar este sector para lograr erradicar la pobreza extrema; como lo menciona León-Lázaro (2018) es importante invertir en la mano de obra y el desarrollo de infraestructura idónea para que los países puedan ser competitivos ante un mercado liderado por naciones desarrolladas. Al respecto, la figura 4 relaciona el nivel de empleabilidad en el sector agrícola en Colombia

e India entre los años 2006-2016.

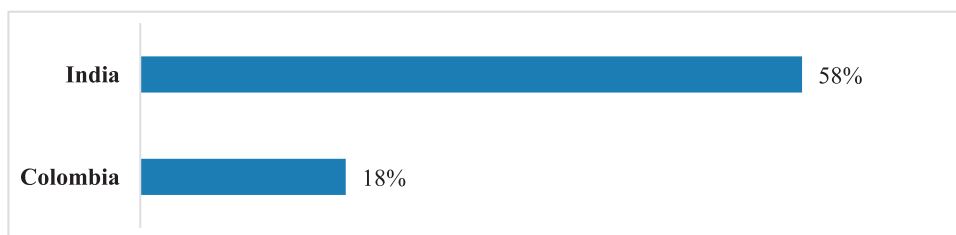


Figura 4. Nivel de empleabilidad en el sector agrícola en Colombia e India del 2006-2016.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de Vilela y Noronha (2018).

El desarrollo del comercio internacional en los dos países estudiados es bastante similar en cuanto al aporte que le dan las importaciones y las exportaciones a su PIB, promediando entre el 12% y el 16% respectivamente. En la realidad de la balanza comercial, aunque los dos países presentan un indicador negativo, al año 2017 está tuvo un comportamiento en Colombia de -2,63% y en la India de -5,74%.

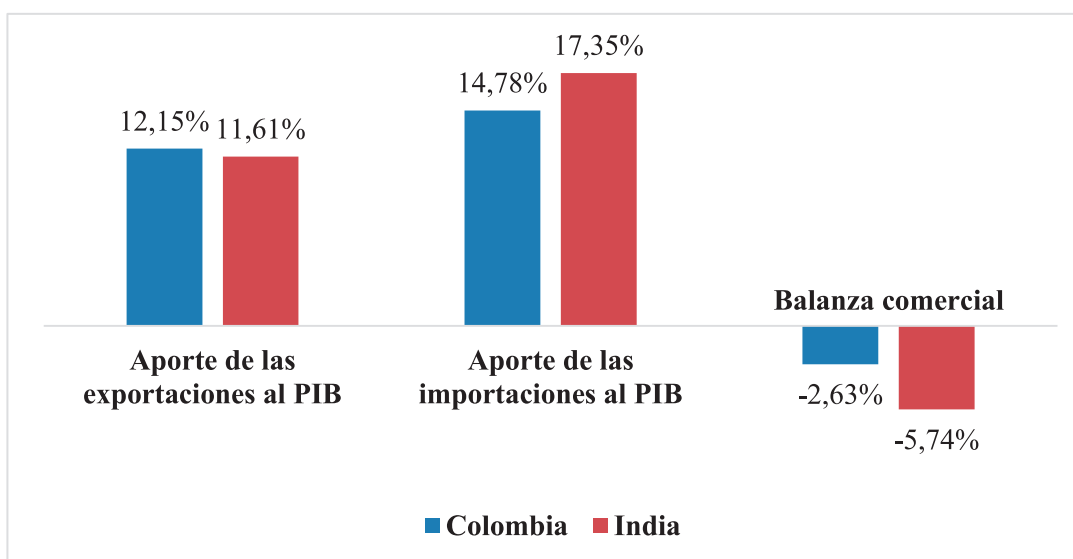


Figura 4. Relación entre balanza comercial y PIB al 2017 en Colombia y la India.

Fuente: Elaboración propia con base en Datosmacro.com (2019).

En la figura 5 se presentan los rankings de competitividad e innovación mundial al 2018 de Colombia y la India. Estos presentan en términos de competitividad a Colombia en el puesto 60 y a la India en el 58, estableciendo un posicionamiento global bastante similar en este tema; no obstante, en cuanto a la innovación sí se evidencian marcadas diferencias, pues Colombia ocupó el puesto 37 mientras que la India el 6 a nivel mundial. El fortalecimiento de los sectores económicos permite a la India ocupar una posición bastante favorable en los procesos de innovación, a diferencia de la economía colombiana que presenta fortalezas en el sector primario y terciario, descuidando el desarrollo de la industria.

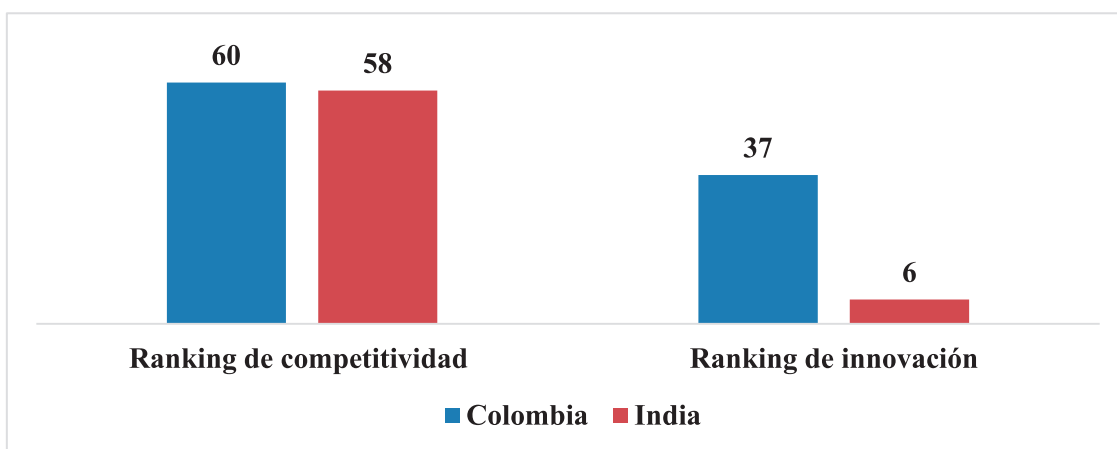


Figura 5. Ranking de competitividad e innovación mundial al 2018 de Colombia y la India
Fuente: Elaboración propia con base en Datosmacro.com (2019).

Conclusiones

El desarrollo de este estudio resalta la importancia que tiene el sector agrícola a nivel mundial y los aportes que desde su naturaleza económica les brinda a los estados y al desarrollo global; por ello, se optó por realizar un análisis comparativo Colombia y la India. Lo anterior sustenta lo planteado por Castell, et al, (2015) quienes afirman que las actividades agrícolas son el sector de la economía productor de materias primas de origen vegetal a través del cultivo, como lo son los provenientes de la tierra (frutas y verduras). El sector es de gran importancia en cualquier país sin importar su nivel de desarrollado porque este sector contribuye a la compensación de la necesidad de alimentos, también a la prosperidad de los ciudadanos y a la industria y economía del país (León-Lázaro, 2018); por tal motivo el sector agrícola se ha globalizado, la IED y su participación en el comercio internacional han crecido notablemente, las empresas comercializadoras del Estado y las firmas multinacionales cumplen una función cada vez más importante (Arguello, 2006).

Se identificó que el sector agrícola de la India aporta entre el 16% y el 17% al PIB nacional en los últimos 12 años; mientras que en el caso de este sector en Colombia su aporte oscila entre el 5% y el 7%. A pesar de que Colombia cuenta con grandes ventajas comparativas que lo deberían hacer mucho más competitivo en este escenario por factores como el clima y la posición geográfica hay que tener en cuenta que existen factores que lo limitan a progresar como es la faltan los recursos necesarios como tecnologías, la infraestructura, y otros recursos que entrelacen el sector primario con el secundario, donde la explotación de materias primas potencialice la industria.

Por ello, y en relación con lo anterior, Sánchez (2018) considera que el desarrollo económico debe aprovechar el potencial científico y técnico que se ha creado para lograr la dinamiza-

ción de este sector, aprovechando la producción y explotación de bienes y servicios con un alto valor agregado, fomentando emprendimientos y proyectos empresariales de base tecnológica; como lo afirman De Almeida y Arrechavaleta-Guartron (2017) el desarrollo económico depende del funcionamiento entre la ciencia, la tecnología, la innovación y la educación superior, ya que estas últimas juegan un papel fundamental en el desarrollo de capacidades y absorción de conocimientos en la sociedad. Es fundamental que los países fomenten el crecimiento de la productividad, con mayor capital físico, mejorando la cobertura y calidad de la educación formal y así lograr mejoras tecnológicas y de infraestructura que logre un crecimiento sostenido (Döll, 2017).

López Hernández (2017) plantea que la globalización está generando competencias interesantes para colocar los productos agrícolas en los diversos mercados y por ello quienes han sentido dichos efectos primero han sido por supuesto los productores agrícolas porque han visto como ahora deben competir no solo con productores locales y nacionales, sino también con los de otros países; ante esto Gómez y Bustelo (1992) indican que el sector agrícola recibe los impactos de los grandes grupos económicos, que cada vez más perfeccionan la tecnología de las telecomunicaciones y la información, tanto las empresas multinacionales como las actuales y las consecuencias perjudican especialmente a los pequeños productores y a los trabajadores en general. Lo anterior se explica en que el aumento de la productividad de la agricultura libera fuerza laboral para otros sectores, varias décadas del siglo pasado esta relación entre agricultura y crecimiento económico global fue distorsionada en la forma de una doctrina que perseguía la industrialización aún a expensas del desarrollo agrícola, socavando por lo tanto las posibilidades de que la agricultura contribuyera al desarrollo global (Bassoco y Norton, 1975). Al respecto, es relevante resaltar que el 68.5% de los habitantes de la India residen en zonas rurales, es decir, más de 120 millones de hogares convirtiéndose en un generador de empleo en el sector agrícola (Vilela y Noronha, 2018).

Teniendo en cuenta que los dos países estudiados presentan un modelo de economía de mercado, la balanza comercial como relación entre importaciones y exportaciones en un periodo de tiempo específico, resulta ser un indicador trascendental en la realidad del comercio internacional que potencializa la globalización; de ahí que los estados promuevan políticas para el desarrollo de su competitividad, por ello Montoya, L, Montoya, I. y Castellanos (2008) comentan que el concepto de competitividad lleva dentro de sí la idea de indicador de calidad industrial, de tal forma que señala cómo se comportan las empresas de forma individual y colectiva en los mercados y el éxito financiero y productivo de las mismas.

Referencias

- ANDI (2018). Colombia: Balance 2018 y Perspectivas 2019. Recuperado el 5 de Julio de 2019 de http://www.andi.com.co/Uploads/ANDI%20-%20Balance%20y%20Perspectivas_636882495815285345.pdf
- Arguello, R. (2006). Economía Institucional. Recuperado el 22 de Julio de 2019 de

- <https://www.trt.net.tr/espanol/programas/2016/03/09/por-que-es-tan-importante-el-sector-agricola-para-la-economia-de-pais-447371>
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Revista Ecosistemas*, 11(2).
- Banco Mundial. (2019). Agricultura, valor agregado (% del PIB). Recuperado el 11 de Junio de 2019 de https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?end=2016&locations=%20CO&name_desc=false&start=2006
- Bassoco, L. y Norton, R. (1975). Una metodología cuantitativa de la programación agrícola. *Demografía y economía*, 9(3), 432-481.
- Bautista, N. (2011). Proceso de la investigación cualitativa. *Epistemología, metodología y aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Editorial El Manual Moderno Ltda.
- BBC (2012). Cinco grandes eventos que marcaron la economía en 2012. Recuperado el 11 de Junio de 2019 de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/12/121224_economia_2012_cinco_claves_ar
- Bernal, C. y Laverde, J. (1995). Proyecto de modernización de las Pymes. *Gestión tecnológica. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Bogotá*.
- Bonet, J. (2007). La terciarización de las estructuras económicas regionales en Colombia. *Revista de economía del Rosario*, 10(1).
- Brics (2016). Sectores de la economía India. Recuperado el 11 de junio de 2019 de <https://brics2016.wordpress.com/2016/02/14/sectores-de-la-economia-india/>
- Callen, T. (2008). ¿Qué es el producto interno bruto? *Finanzas & Desarrollo*, 48.
- Castell, S., Miranda, A., Díaz, G. y Pérez, N. (2015). Análisis de los servicios de mecanización en la Empresa Agroindustrial de Granos Los Palacios. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 45-51.
- Castillo-Martín, P. (2011). Política económica: crecimiento económico, desarrollo económico, desarrollo sostenible. *Revista internacional del mundo económico y del derecho*, 3(1), 1-2.
- Chica, J. Tirado, Y. y Barreto, J. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 16-31.
- Conforti, P. (2011). Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050. Recuperado el 23 de Julio de 2019 de <http://www.fao.org/3/i2280e/i2280e.pdf>
- Cortés, S. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Recuperado el 23 de Julio de 2019 de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/61/LIB_2013_Pol%C3%ADticas%20para%20el%20desarrollo%20de%20la%20agricultura_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cumplido, F. (2004). Convergencia, desarrollo y empresarialidad en el proceso de globalización económica. *Revista de Economía Mundial*, 10
- Datosmacro.com (2019). Comparar economía países: Colombia vs India. Recuperado de <https://datosmacro.expansion.com/paises/comparar/colombia/india>
- De Almeida, Ó. y Arrechavaleta-Guarion, N. (2017). El financiamiento, la ciencia, la tecnología e innovación y la educación superior en los países en vías de desarrollo. *Revista Cubana de Educación Superior*, 36(3), 4-19.
- De Brauw, A. (2019). Migration Out of Rural Areas and Implications for Rural Livelihoods. *Annual Review of Resource Economics*, 11.
- Döll, J. (2017). Problemas y perspectivas actuales del desarrollo económico. *ECONOMÍA unam*, 14(41), 110-129.
- García, A. (1993). Análisis documental: el análisis formal. *Revista general de información y documentación*, 3(1), 11.
- García-Henao, L. (2011). Teoría del desarrollo sostenible y legislación ambiental colombiana. Una reflexión cultural. *Revista de derecho*, 20(20).
- Garofoli, G. (1995). Desarrollo económico, organización de la producción y territorio. *Desarrollo económico local en Europa*, 113123.
- Gallichio, E. (2004). El desarrollo local: ¿cómo combinar gobernabilidad, desarrollo económico y capital social en el territorio? *Cuadernos del CLAEH*, 27 (89), 55-68.
- Gómez, P. y Bustelo, P. (1992). *Economía del desarrollo, un análisis histórico*. Editorial Complutense, Madrid: España.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Hernández-Santé, D. (2014). La Inversión Extranjera Directa, sus efectos como externalidades negativas en las economías receptoras de México y América

- Latina. *Amicus Curiae*. Segunda Época, 1(2).
- Janvry, A. (2009). La situación de la agricultura mundial y sus efectos en América Latina. *Economía y sociedad*. Lima: Consorcio de Investigación Económica y social (CIES): (71), 9-13.
- Johnston, B. y Mellor, J. (1962). El papel de la agricultura en el desarrollo económico. *El Trimestre Económico*, 29(114 (2)), 279-307.
- Kay, C. (1991). Teorías latinoamericanas del desarrollo. *Nueva sociedad*, 113, 101-113.
- León-Lázaro, G. (2018). La globalización y su influencia en la agricultura. *Anuario jurídico y económico escurialense*, (51), 389-410.
- Lewis, W. (1957). Teoría del desarrollo económico. *El Trimestre Económico*, 24(96 (4)), 454-467.
- López Hernández, M. (2017). Desnudez y pudor entre los nahuas prehispánicos. *Indiana* (03418642), 34(1).
- Marchant, M., Nichols, J., Anderson, K., Bessler, D., Doye, D., Herndon Jr, C. y McCarl, B. (2014). SAEA Award Recipients (1987-2014). *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 1998.
- Mortimore, M., Vergara, S. y Katz, J. (2001). La competitividad internacional y el desarrollo nacional: implicancias para la política de Inversión Extranjera Directa (IED) en América Latina. CEPAL.
- Montoya, L., Montoya, I. y Castellanos, O. (2008). De la noción de competitividad a las ventajas de la integración empresarial. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 16(1), 59-70.
- Morales M. y Castellanos, O. (2007). Estrategias del fortalecimiento de las Pyme de base tecnológica a partir del enfoque de competitividad sistémica. *Revista Innovar*. Vol 17, No. 29.
- Muñoz-Ovalle, I. (2011). Persistencia de la tradición pescadora recolectora en la costa de Arica: Identificación de rasgos culturales y discusión sobre su alcance en el contexto de las poblaciones agrícolas tempranas. *Chungará (Arica)*, 43(ESPECIAL), 469-485.
- Peña-Vera, T. y Pirela-Morillo, J. (2007). La complejidad del análisis documental. *Información, cultura y sociedad*, (16), 55-81.
- Pérez, M. (2006). El desarrollo local sostenible. *Economía y desarrollo*, 140(2), 60-71.
- Petit-Primera, J. (2013). La teoría económica del desarrollo desde Keynes hasta el nuevo modelo neoclásico del crecimiento económico. *Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura*, 19(1), 123-142.
- Perfetti, J. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura. Recuperado el 23 de Julio de 2019 de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/61>
- Piñeiro, M. (2009). El contexto internacional y regional. Recuperado el 23 de Julio de 2019, de <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/icap/unpan045376.pdf>
- Porter, M. (1996). Competitive advantage, agglomeration economies, and regional policy. *International regional science review*, 19(1-2), 85-90.
- Ripol, J. y Cerdeño, V. (2003). Evolución de la distribución comercial y de los hábitos de compra: del dualismo al polimorfismo. *ICE, Revista de Economía*, (811).
- Ronderos, C. (2010). Inversión extranjera y Competitividad. *Globalización, Competitividad y Gobernabilidad de Georgetown/Universia*, 4(2).
- Rueda, L. (2004). Gasto público y convergencia regional en Colombia. *Revista ESPE*, (45), 222-268.
- Ruíz, J. y Slaghekke, A. (2008). Competitividad y desarrollo en Colombia: influencia de los organismos supranacionales e interés nacional. *Clío América*, 2(3).
- Sanchez, L. (2018). Cultura organizacional en microempresas activadoras del desarrollo local. *Margen: revista de trabajo social y ciencias sociales*, 89(6), 1-10.
- Sánchez, H. (2011). Conceptualización y antecedentes teóricos de la competitividad internacional y regional: un asunto territorial. *Artículos en PDF disponibles desde 2010 hasta 2013. A partir de 2014 visítenos en www.elsevier.es/sumanegocios*, 1(2).
- Silva-Lira, I. (2005). Desarrollo económico local y competitividad territorial en América Latina. *Revista de la CEPAL*.
- Tovio, A. y Alfaro, A. (2016). Análisis del comportamiento de las variables que determinan el circuito económico en Colombia. *Aglala*, 7(1), 94-121.
- Trejos, R. (2009). El contexto internacional y regional. Recuperado el 23 de Julio de 2019, de <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/icap/unpan045376.pdf>
- Vanegas, J. Restrepo, J. y González, M. (2015). Negocios y comercio internacional: evidencias de investigación académica para Colombia. *Suma de Negocios*, 6(13), 84-91.
- Vilela, E. y Noronha, C. (2018). Un análisis comparativo de la inserción de inmigrantes latinoamericanos en el mercado de trabajo de España en 2001. *Cadernos Prolam/USP*, 17(32), 19-42.



CAPITULO 10

CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DEL PLÁTANO OBTENIDA DEL PSEUDOTALLO DEL MUNICIPIO CABUYARO META - COLOMBIA

Como citar esta Sección I.

Moreno E & Pedreros Bernal. (2019) Sección I. Investigación y Sectores Productivos Caracterización de la fibra del plátano obtenida del pseudotallo del municipio Cabuyaro Meta - Colombia. En A. d. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCI. Bogotá D.C: Editorial ECCI.

CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DEL PLÁTANO OBTENIDA DE PSEUDOTALLO DEL MUNICIPIO CABUYARO META - COLOMBIA

Eric Daniel Moreno ¹
María Alexandra Pedreros Bernal ²

Resumen

Colombia es uno de los mayores productores y exportadores del Banano -plátano a nivel mundial, razón por lo cual es uno de los productos agrícolas más cultivados en diferentes regiones. Pero en este proceso se comercializa principalmente el fruto (plátano- Banano), siendo los otros elementos residuos que no tiene finalidad comercial y pueden llegar a ser un elemento contaminante ya que son incinerados por no encontrarle ninguna utilidad.

La región de los llanos orientales es una de las más reconocidas por la siembra del plátano y varios cultivadores utilizan los residuos de la cosecha para elaborar diferentes productos tejidos artesanales como lo son bolsos, individuales, billeteras, baúles, entre otros. Pero si se desea industrializar el proceso o incrementar los volúmenes de producción es necesario conocer las características físico químicas de este tipo de tejidos, para definir las especificaciones de procesos y producto terminado. Para este proceso de caracterización se han tomado muestra de la región fibras y tejidos del Municipio de Cabuyaro Meta, a los cuales se les han identificado sus propiedades de resistencia a la ruptura, resistencia a la tensión, elongación, desgarre, pilling, flamabilidad, entre otros con los procedimientos y equipos de laboratorio indicados por las normas técnicas AST y NTC

Palabras claves:

Plátano, banano, fibras textiles, caracterización de fibras

Abstract

Colombia is one of the largest producers and exporters of bananas worldwide, which is why it is one of the most cultivated agricultural products in different regions. But in this process, the fruit is mainly marketed (banana-banana), the other elements being waste that has no commercial purpose and can become a contaminating element as they are incinerated for not finding any use. The region of the eastern plains is one of the most recognized for banana planting and several

¹Ingeniero Industrial reno Master Logística, postulado Doctorado en Proyectos; Diseñadora de Modas y Textiles

²Especialización Planeación educativa y planes de desarrollo, postulada Maestría en Marketing Digital; Grupo de investigación diseño de modas Universidad ECCI

growers use the waste from the harvest to make different handmade woven products such as handbags, singles, wallets, trunks, among others. But if you want to industrialize the process or increase production volumes it is necessary to know the physical and chemical characteristics of this type of fabrics, to define the specifications of processes and finished product. For this characterization process, samples from the region of fibers and tissues of the Municipality of Cabuyaro Meta have been taken, to which have been identified their properties of resistance to rupture, resistance to tension, elongation, tearing, pilling, flammability, others with the procedures and laboratory equipment indicated by the technical norms AST and NTC.

Keywords: Banana, textile fibers, fiber characterization

Objetivo

Identificar y establecer cuantitativamente las principales propiedades físico químicas de las fibras obtenidas del plátano colombiano, fabricada en el municipio de Cabuyaro Meta. Lo cual permitirá establecer al fabricante de cualquier sector económico que utilice estas fibras o tejidos, los parámetros o estándares de calidad que podrá obtener al utilizar esta materia prima, respondiendo preguntas como ¿Que tan resiste es la fibra a: ¿La tensión, elongación, desgarre y flamabilidad? ¿Cuáles son las características de la fibra referente a composición, absorción de color, suavidad? entre otras?

Contexto

La musáceas son una familia de plantas monocotiledóneas, identificadas principalmente por frutos como el banano y el plátano, pero existen más de 40 tipos de especies de esta familia que generan una gran variedad de frutos con características similares entre ellos como forma, color, texturas, entre otros. De esta misma forma las plantas son muy similares entre ellas referente a las características del tronco, hojas y residuos generados. Una de las principales diferencias corresponde a que el banano amarillo por lo general es más pequeño que la gran mayoría de plátanos y la pulpa de la fruta es más dulce y suave. Otra diferencia corresponde a su uso gastronómico, ya que por lo general los plátanos son consumidos después de un proceso cocción, mientras que el banano suele consumirse de forma cruda

La musáceas de Latinoamérica son plantas de origen asiático y fueron traídas por los españoles en el siglo XVI y de acuerdo al ministerio de agricultura se indica que las variedades de plátano

³ Fuente Ministerio de agricultura. Boletín mensual No 22. INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Pagina 1. -2014.

⁴ Fuente Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Manejo sostenible del cultivo del plátano Pagina 7. 2006,

⁵ Fuente DANE. Boletín Técnico Exportaciones (EXPO) diciembre 2018. Extraído de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol_exp_dic18.pdf

no cultivadas en Colombia son: dominico-hartón, dominico, hartón, pelipita, morado, cachaco, popocho, pompo, maqueño, guineo y trucho . De acuerdo a Corpoica El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, es considerado un producto básico y de exportación, fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo, dentro . Colombia en el año 2018 según el DANE exporto en la categoría de productos agropecuarios, alimentos y bebidas 7.301.3 Millones de dólares FOB, de los cuales el segundo producto con mayores exportaciones después del café son las bananas - Plátano con una representación del 12% del total de las exportaciones .

Características de la planta

De forma general las diferentes especies de la familia de las musáceas, cuentan con una estructura similar, las cuales se presentan a continuación con su fin comercial en el municipio Cabuyaro Meta:

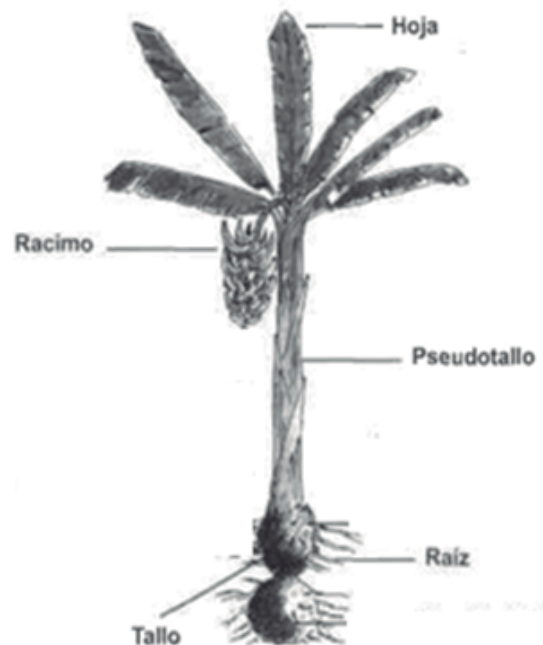


Imagen: Partes generales de la planta del plátano

Fuente Propia

*Racimo - Fruto: Está conformado por el banano o planto recubiertos por una bellota, su cosecha se encuentra entre 4 a 5 meses y es el principal producto de comercialización

*Hojas: Son las encargadas de tomar la luz solar para producir el fruto, la salida de la hoja varía entre 8 a 10 días y dura en promedio 100 días en el árbol, ya que debe ser deshojado para garantizar la captación de la luz y evitar plagas. Su uso comercial es gastronómico para empacar y/o realizar cocción de diversos productos.

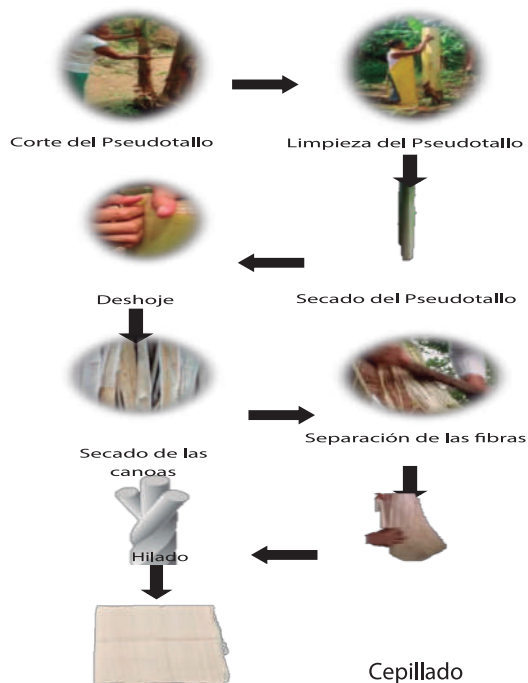
*Pseudotallo: Es la parte que se asemeja al tronco porque que soporta las hojas y el racimo, pero su estructura no es en madera, ya que está formado por vainas foliares las cuales contienen grandes volúmenes de agua. El Pseudotallo es cortado en promedio una semana después de la cosecha del racimo, para eliminar plagas evitar pudrimiento interno y mejorar los productos del cultivo. Su uso comercial se encuentra en vía de desarrollo, ya que algunas comunidades agrícolas están utilizándolo para convertirlo en fibras textiles y en otros casos se ha realizado papel o empaques desechables reemplazando su uso tradicional como alimento para el ganado o abono

*Rizma: Es el tallo verdadero de la planta y se encuentra bajo tierra. No tiene usos comerciales ya que debe permanecer para que la planta tenga vida

*Raiz: Sirve de soporte para la planta y apoya los procesos de extracción de nutrientes de la tierra. No tiene usos comerciales ya que debe permanecer para que la planta tenga vida

Procesos de obtención de la fibra para productos tejidos

El proceso de obtención de la fibra, se indicará de forma general de acuerdo a los procesos de los artesanos de la zona, complementándola con la información técnica del país indicada por Artesanías de Colombia, en la cual se encuentre variaciones de la región con el país únicamente en tiempos de proceso y especificaciones dimensionales. A continuación, se presenta el flujo general de obtención de la fibra:



*Corte del Pseudotallo se realiza a una altura entre 60 a 80 centímetros del suelo después de haber recogido la cosecha, posteriormente se cortan las hojas de la parte superior, obteniendo un pseudotallo entre 1 a 2 metros de longitud, según las características del terreno y los tiempos de la cosecha

* Limpieza del Pseudotallo se retiran las capas externas del pseudotallo, llamadas calcetas, debido a que estas por lo general se encuentran secas y marchitas, lo cual generaría fibras no aptas para un tejido

*Secado Pseudotallo, para ello se coloca en posición vertical por un día en promedio y por la acción

⁶ Fuente: Artesanías de Colombia S.A -Diagnóstico de Calidad Oficio Artesanal Cestería en calceta de plátano - Julio de 2008

de la gravedad sus líquidos internos son extraídos de forma natural.

*Deshoje. Se coloca el pseudotallo en posición horizontal y de forma manual se van separando y extrayendo cada una de las capas, también conocidas como canoas

*Secado de las canoas En un promedio de cinco días son expuesta al sol las canoas, para que se realice el secado de forma natural, obteniendo calcetas secas con unas dimensiones de 1 a 2 metros de longitud y un ancho entre 4 a 10 centímetros

*Separación de las fibras, La calceta es dividida para generar los filamentos de la fibra de plátano, realizando un proceso de cepillado superficial, en el cual se extrae la pulpa existente aun

*Cepillado: Las fibras obtenidas se dejan en posición horizontal por un lapso mínimo de un día y posteriormente son cepilladas varias veces para alisar los filamentos

*Hilado: los filamentos son sometidos a un proceso de torsión con el fin de generar hilos de plátano

Tejido: De acuerdo al tipo de producto a fabricar se realizan diferentes construcciones entrelazadas para generar productos tejidos, ya sean con los filamentos o con los hilos

Muestra

Con el fin de identificar las propiedades físico químicas de las fibras e hilos obtenidos del plátano se ha tomado como caso de estudio la región de cultivos del municipio de cabuyaro Meta a los cuales se les aplico protocolos normativos para la caracterización, teniendo en cuenta las normas técnicas, equipos y procedimientos establecidos y reconocidos nacional e internacionalmente como lo son las Normas técnicas colombianas (NTC), las normas de la American Society for Materials (ASTM), y las Normas de la National Fire Protection association (NFPA)

Métodos

Para el desarrollo de los procedimientos estandarizados de caracterización de la fibra se aplicaron los métodos a los hilos y tejidos, utilizando los equipos y materiales de laboratorio más pertinentes según: las normas técnicas colombianas (NTC); o las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM); o la Asociación Americana de Químicos Textiles y Coloristas (AATCC) Los resultados de la caracterización se presenta a continuación de forma general:

Composición:

Norma Técnica de referencia: NTC 481 método 6 y la Norma AATCC 20 A

Para determinar la composición de la fibra del plátano se empleó de acuerdo a la norma un procedimiento químico físico en el cual se utilizó NaCl cloruro de sodio y NNdimetil acetamida,

obteniendo los siguientes componentes principales:

• Tabla: composición de la fibra del plátano
Fuente Propia



Imagen: Solubilidad de las fibras del plátano según el método de la NTC 481
Fuente Propia

Componente	Total Fibra
Holocelulosa	51-60%
Alfa Celulosa	33-42%
Pentanos	11-15 %
Lingima	9-12%
Silice	2-4%

Titulo - Calibre

Se aplicó la norma técnica NTC 5772 y la norma ASTM D1059-01, tomada diferentes muestras del hilo de plátano de la región, obteniendo un valor promedio de calibre equivalente a un Titulo 8/1Nd Number english, siendo una fibra gruesa de un solo cabo

Resistencia a la ruptura y Elongación

Norma Técnica de referencia: ASTM D5034 y la NTC 754-1, el cual se aplicó al:

*Tejido: Con el fin de no afectar la estructura de resistencia y elongación del tejido al realizar cortes, se elaboraron probetas con las especificaciones normativas y técnicas de tejeduría actuales de la región. Posteriormente se colocaron en la máquina de ensayos universal hasta generar ruptura obteniendo los siguientes resultados:

- Resistencia a la penetración: Promedio de 246 Newton, con un desplazamiento de 18 mm
- Ruptura promedio del tejido en la trama: 354 Newton
- Elongación promedio del tejido en la trama: 34.6%
- Ruptura promedio del tejido en la urdimbre: 1084 Newton
- Elongación promedio del tejido en la urdimbre: 9.9%

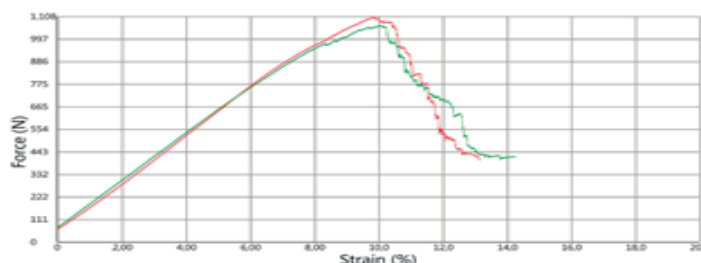


Imagen: Resistencia a la ruptura promedio tejido del plátano
Fuente Propia

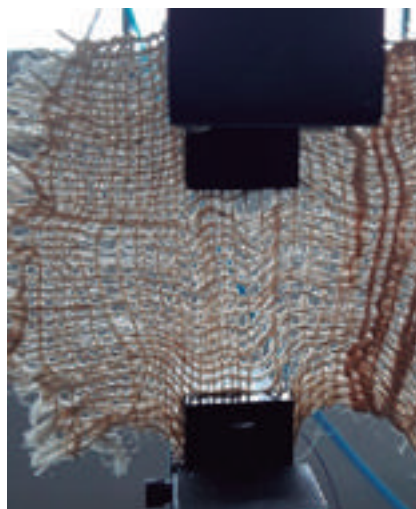


Imagen: Resistencia a la ruptura promedio tejido de seda a la urdimbre
Fuente Propia

Flamabilidad

Norma Técnica de referencia: ASTM D6413 – NFPA 2112

El hilo y el tejido fueron expuestos a la llama en la cabina de flamabilidad vertical con el fin de controlar temperaturas, exposición y tiempos. En la cual se obtuvieron los siguientes resultados

- La fibra no genera goteo ni humos tóxicos, generando residuos cenizos de color gris suave, lo cual es característico de las fibras naturales
- Presenta una longitud de carbonización de mayor a 10 cms por minuto de exposición a la flama, lo cual indica una propagación constante de la llama en el tejido, lo cual es algo convencional en las fibras naturales es por ello que no se considera una fibra retardante al fuego

Permeabilidad al agua

Norma Técnica de referencia: AATCC 22 pruebas de impermeabilidad

Equipo de impermeabilidad, con el método (prueba) del roseado En la cual se obtuvieron los siguientes resultados

- Presenta una calificación acorde a estándares fotográficos de 60 Sobre 100. Siendo el 100 una fibra totalmente repelente. Es por ello que la fibra del plátano no es repelente, razón por lo cual requiere un recubrimiento como colorantes, que generan una protec-

- ción
- Es una fibra hidrofílica (absorbe y la trasmite) e hidróscopica (absorbe y retiene el agua)

Resistencia a la abrasión en seco Pilling

Norma técnica de referencia NTC 2051-2 (ASTM D3512)

Para determinar la resistencia a la formación de motas (pilling) y otros cambios de superficie del tejido del plátano, se utilizó el Random Tumble Pilling Tester como probador de rotación aleatoria, según los parámetros establecidos por la norma. Obtenido los siguientes resultados:

La fibra presenta una calificación de 3 sobre 5, equivalente a una alta pilosidad por su corta longitud y resistencia, según el patrón fotográfico para calificar niveles de motosidad textiles acorde a ASTM D3512



Imagen: Motosidad de la muestra de plátano
Fuente Propia

Suavidad

Se emplean los métodos AATCC 124 y AATCC 143 que dio como resultado 4 milímetros en las pruebas, lo cual indica que es una fibra áspera al tacto

Absorción del color

Para el análisis se utilizó una curva de teñido acorde a la fibra donde se controla tiempo y temperatura, con relación de baño, en el cual se determinó una absorción promedio del 90% de los colorantes.

Para esta calificación del color se utiliza el método con escala de grises presentando una desviación con una escala de calificación 3-4 bajo la norma NTC4873-2 NTC4873-3, basado en la ISO 105A-02, ISO 105A-03.



Imagen: Absorción de color de la fibra textil del plátano
Fuente Propia

Solidez del color

Posterior el análisis de la fibra se realizó un análisis de solides del color al lavado utilizando norma NTC 1155-3 y la AATCC 61. Calificación 2 en escala de grises, queriendo decir que es baja la permanencia del color

Posterior el análisis de la fibra se realizó un análisis de solides del color al lavado utilizando norma NTC 1155-3 y la AATCC 61, Según el método se comparó con escala de grises presentando una desviación con una escala de calificación 3-4 bajo la norma NTC4873-2 NTC4873-3, basado en la ISO 105A-02, ISO 105A-03. Siendo un valor alto de absorción, pero bajo de permanencia

Conclusiones:

La fibra del plátano obtenida del pseudotallo del municipio cabuyaro meta, presenta las siguientes características evaluadas según las normas técnicas de calidad NTC y ATTCC:

- Fibra con un elevado coeficiente de resistencia a la ruptura mínima de 1084 Newton, lo cual la convierte en una fibra ideal para tejidos, prendas y artículos que requieran grandes esfuerzos y resistencia
- El coeficiente de elongación en un artículo realizado con un tejido plano del plátano, permitirá garantizar al usuario como mínimo un 10% de elongación a la urdimbre y un 35% de elongación en la trama
- La fibra y tejidos elaborados con el pseudotallo de la región, cuenta con característica de baja hidrofobicidad, por lo cual las prendas y artículos elaborados con esta fibra requieren un recubrimiento adicional para repeler al agua
- La fibra presenta una alta pilosidad por tener bajos niveles de suavidad y longitudes cortas

de fibra, es por ello que se requiere el uso de un químico suavizante con el fin de evitar la generación de pilling (motosidad)

- La fibra y tejidos tienen una alta absorción del color según las normas técnicas, es por ello que pueden realizarse procesos de tintura en cualquier color, pero se deben aplicar fijadores para garantizar la durabilidad de estas tonalidades.

REFERENCIAS

Ministerio de agricultura. Boletín mensual No 22. Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria. 2014.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Manejo sostenible del cultivo del plátano. 2006

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Boletín Técnico Exportaciones (EXPO) 2018.

Artesanías de Colombia S.A -Diagnóstico de Calidad Oficio Artesanal Cestería en calceta de plátano - 2008

Normas técnicas colombianas NTC.

Método 6 de la norma NTC 481 “textiles. análisis químico cuantitativo de fibras” 2012

NTC 5772 “Textiles. determinación del título del hilo basado en especímenes de longitud corta” 2010

NTC 754-1 “Método para determinar la resistencia a la rotura y elongación de las telas. método del agarre” .2013

NTC 313 “Textiles. propiedades de los tejidos. parte: 1 determinación de la fuerza de desgarre. método del péndulo balístico (elmendorf)” 2009

NTC 2051-2 “Textiles. parte 2: determinación de la resistencia a la formación de motas (pilling) y otros cambios de superficie de las telas relacionados, mediante probador de formación de motas de rotación aleatoria (random tumble pilling tester)” 2017

NTC 1155-3 “Textiles. ensayos de solidez del color. parte 3: solidez del color al lavado. método acelerado” 2017

NTC4873-2 “Textiles. ensayos para determinar solidez del color. parte 2. escala de grises para evaluar cambios de color” 2000

NTC4873-3 “Textiles. ensayos para determinar solidez del color. parte 3. escala de grises para evaluar la transferencia de color” 2000

Normas técnicas de la Asociación Americana de Químicos Textiles y Coloristas AATCC

AATCC 20A “Fiber Analysis: Quantitative” Año 2018

AATCC 22 "Water Repellency: Spray Test" . Año 2017

AATCC 124 "Smoothness Appearance of Fabrics after Repeated Home Laundering" . Año 2018

AATCC 143 "Appearance of Apparel and Other Textile End Products after Repeated Home Laundering" . Año 2018
AATC

C 61 "Colorfastness to Laundering: Accelerated" Año 2013

Normas Técnicas de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM):

ASTM D1059-01: Método de prueba estándar para número del hilo basado en especímenes cortos Año 2015

ASTM D629 "Standard Test Methods for Quantitative Analysis of Textiles" Año 2015

ASTM D5034 "Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)" Año 2017

ASTM D1424 "Standard Test Method for Tearing Strength of Fabrics by Falling Pendulum Type (Elmendorf) Apparatus" Año 2013

ASTM D6413 "Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)" Año 2015

ASTM D3512 "Standard Test Method for Pilling Resistance and Other Related Surface Changes of Textile Fabrics: Random Tumble Pilling Tester" Año 2016

Normas de la National Fire Protection association (NFPA):

NFPA 2112 "Standard on Flame-Resistant Garments for Protection of Industrial Personnel Against Flash Fire" Año 2017

/// SECCIÓN II

AVANCES DESARROLLO E INNOVACIÓN DEL SECTOR AERONÁUTICO Y MILITAR

Como citar esta Sección II.

Autor(s) del Capítulo. (2019) Sección II. Avances desarrollo e innovación del sector aeronáutico y militar. Título del Capítulo. En A. Martínez Lobo, J. M. Flórez Parra, & F. Agredo Satizabal, La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en los sectores productivos del país. Centro de Estudios Aeronáuticos & Universidad ECCL. Bogotá D.C: Editorial ECCL.

Prólogo

En nombre del Centro de Estudios Aeronáuticos, quiero dar la bienvenida al lector a este capítulo, en el que se presenta una serie de artículos que hacen parte de las memorias del Segundo Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico E-IDEA2019, que se llevó a cabo el 25 de octubre de 2019 en la ciudad de Bogotá, Colombia. En este encuentro se presentaron trabajos con resultados de investigación en áreas como Servicios a la Navegación Aérea, Servicios Aeroportuarios, Electrónica, Robótica, Aeronaves No Tripuladas, Aviónica, Seguridad Operacional, Logística Aeronáutica, Mantenimiento Aeronáutico, Regulación, Certificación, Factores Humanos, Educación en Aeronáutica, entre otras, desarrollados por estudiantes, profesionales, docentes e investigadores de instituciones educativas, de la industria y del Estado. Estos resultados de investigación fueron presentados en las modalidades de ponencia, poster o muestra tecnológica, o en la mesa de lectura de artículos. Los asistentes pudieron interactuar con otros miembros de la comunidad científica del sector del transporte aéreo, para intercambiar experiencias, compartir su conocimiento, encontrar oportunidades de colaboración e inspirar la generación de ideas innovadoras.

El Centro de Estudios Aeronáuticos, es una institución con una tradición de más de 50 años en la formación del personal aeronáutico y aeroportuario de nuestro país y de la región, bajo los más altos estándares internacionales. Busca en la actualidad consolidarse como una Institución de Educación Superior líder en el sector, y punto focal del ecosistema aeronáutico integrado por la academia, la industria y las organizaciones estatales. Esto sumado a su reconocimiento nacional como Centro de Instrucción Aeronáutica y su reconocimiento internacional como Miembro Pleno del Programa Trainair Plus de la Organización de Aviación Civil Internacional.

El Encuentro E-IDEA2019 reunió a más de veinte instituciones para mostrar los resultados de sus actividades de investigación, demostrando el gran interés que existe entre la comunidad científica, académica, de la industria y del Estado por compartir sus experiencias en el campo de la investigación, y por seguir avanzando conjuntamente en la búsqueda del desarrollo del sector del transporte aéreo. Esto nos permite seguir el derrotero trazado en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030, con el que Colombia busca alcanzar en 10 años la movilización de 100 millones de pasajeros y el doble de toneladas de carga. Con este capítulo buscamos aportar un grano de arena para la consolidación de las relaciones de valor dentro de nuestro ecosistema aeronáutico, y sus diferentes actores en nuestro país.

Leonardo Gómez

*Coordinador Grupo de Investigación Académica
Centro de Estudios Aeronáuticos CEA*

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA

Cesar Alberto García Ortiz, Universidad de San Buenaventura, Bogotá DC
Isabella Ferreira, Universidad de San Buenaventura, Bogotá DC
Laura Vanessa Torres, Universidad de San Buenaventura, Bogotá DC
Bryan Bastidas, Universidad de San Buenaventura, Bogotá DC
Ing. Harold Julián Acosta, Universidad de San Buenaventura, Bogotá DC

Introducción

La instrumentación del banco de pruebas de motores de combustión interna de la universidad de San Buenaventura tiene como objetivo la adquisición de datos en tiempo real y obtención de las curvas características de un motor de estudio, en este caso el motor de 4 tiempos Honda GX 160. Para realizar la caracterización de los parámetros de operación del motor, se empleó el sistema de adquisición de datos eLogger V4, el cual, permite la medición de variable tales como temperatura y revoluciones por minuto, como también el control de gasto de combustible mediante el movimiento de un servomotor. Del mismo modo, el banco cuenta con un dinamómetro y sistema de adquisición de datos, permitiendo con ello censar la composición de los gases de salida del motor, en este caso CO y NOX.

El sistema eLogger V4 Eagle Tree cuenta con una interfaz de operación, la cual, permite no solo la adquisición de datos, sino también la ilustración en tiempo real de los parámetros de operación del motor. En relación con los sistemas de medición, este sistema cuenta con un micro sensor de temperatura, ubicado directamente sobre el sistema de escape, permitiendo con ello determinar la temperatura de los gases de combustión. Asimismo, está equipado con un sensor de temperatura tipo loop ubicado sobre la pared exterior del cilindro, el cual, posibilita la medición de temperatura del cilindro durante los diferentes tiempos de operación.

Keywords

Honda GX160, eLogger V4 Eagle Tree, banco de pruebas, motores recíprocos.

Motor Honda GX 160

El motor Honda GX 160 es un motor estacionario de cuatro tiempos, 4.8 hp (caballos de potencia) y un diseño OHV; es decir, un motor compuesto de válvulas de sobrecarga. Así mismo, cuenta con un sistema de refrigeración de aire, y un arranque manual de eje horizontal. Además, por la disposición de las válvulas de admisión, el motor tiene la capacidad de mejorar la eficiencia de combustión y la transmisión de potencia óptima, brindando con ello alta potencia en relación a la cilindrada. Debido a sus características dimensionales y operacionales, este motor

puede ser utilizado en: podadoras, bombas, generadores, cultivadores, equipamiento industrial, equipamiento agrícola, motocultores, etc.(Motor HONDA GX 160 SX - Motores Estacionarios Honda - Ricardo David Maquinarias, n.d.)



Tabla N° 1: Características dimensionales y operaciones del motor Honda GX 160

ESPECIFICACIONES					
Diámetro x carrera	68 mm x 45 mm	Opciones de lámpara / bobina de carga	25W, 50W / 1A, 3A, 7A	Filtro de aire	Elemento dual
Desplazamiento	163 cm ³	Carburador	Mariposa	Capacidad de aceite	0.61 US qt. (0,58 L)
Potencia neta de salida	4.8 HP (3.6 kW) 3600 rpm	Sistema de encendido	Magneto transistorizado	Capacidad del tanque de combustible	3,3 qts estadounidenses (3,1 litros)
Par neto	10.3 Nm 2,500 rpm	Sistema de arranque	Arrancador de retroceso	Combustible	86 octanos sin plomo o más
PTO Rotación del eje	En sentido anti horario (desde el lado del eje de la TDF)	Sistema de lubricación	Chapoteo	Peso en seco	33 libras (15,1 kg)
Relación de compresión	9.0: 1	Sistema de gobernador	Mecánica centrífuga	N/A	N/A
Dimensiones (mm)	Largo: 304	Ancho: 362	Alto: 346	N/A	N/A

Figura N° 1: Motor Honda GX 160

Dentro de sus especificaciones este motor cuenta con un cilindraje de 163 cm³; es decir el volumen de flujo másico, desplazado desde el punto muerto inferior al punto muerto superior.(Honda Engines, n.d.) El diámetro del pistón es de 68 mm, mientras que su carrera es de 45mm. La potencia neta es la máxima capacidad que tiene el motor de torque revoluciones por minuto (3600rpm). El par neto es el momento de fuerza que ejerce el motor sobre el eje horizontal, es decir, la tendencia de una fuerza para girar. La rotación del eje esta en sentido anti horario. La relación de compresión hace referencia a la cantidad de combustible por unidad de aire, de acuerdo al volumen del cilindro y el diámetro. Carburador; válvulas de mariposa, controlan el ingreso de aire que formara parte de la combustión, obteniendo un óptimo desempeño del

del motor. Encendido del motor por medio de un magneto, que, sin necesidad de una batería, transforma la energía mecánica en eléctrica. El sistema de arranque es un arrancador de retroceso, es decir al jalar la cuerda y generar un movimiento, este eje que se mueve vuelve a recoger la cuerda estirada. El sistema de lubricación es de chapoteo, es decir rocía el lubricante en el motor. Sistema de gobernador por medio de la mecánica centrífuga, se encarga de regular las revoluciones cuando llegan al máximo o al mínimo. Filtro de aire dual, este sistema se encarga de retener las impurezas del aire, como partículas grandes, mugres, entre otros, evitando la contaminación en la cámara de combustión. Utiliza un combustible de 86 octanos sin plomo, incluso es posible usar de mayor octanaje.

Sistema de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos, son elementos que permiten recopilar información para analizar y graficar un fenómeno, utilizando una serie de sensores que indican parámetros de operación tales como temperatura y las revoluciones por minuto. ("Sistema de adquisición de Datos | Omega Engineering," n.d.)

Para la toma de datos, se necesitó de un conjunto de elementos que serán descritos a continuación:

ELogger V4

El Elogger V4 es un dispositivo que permite la lectura de datos en tiempo real, facilitando el análisis de la variación de temperatura y las revoluciones por minuto; de igual forma.

Se adquirió una aplicación que permitiera leer la información que obtenga el ELogger. Este programa permitirá observar la variación en temperatura, en rpm en tiempo real (Leads-, n.d.)

Sensor de RPM magnéticos

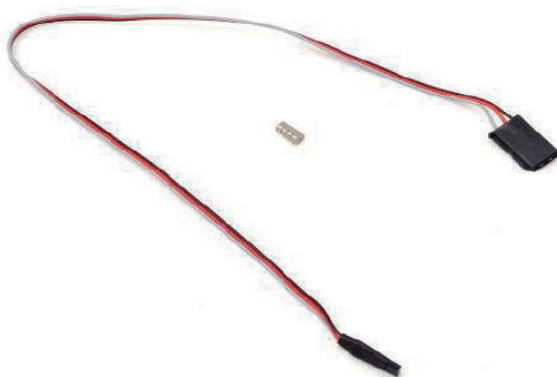


Figura N° 2: Sensor magnético RPM Eagle tree

En la medición de datos de este proyecto, se dispuso de la ayuda del sensor magnético RPM, el cual brinda una lectura inmediata y directa de los datos con respecto al eje del motor. Este sensor funciona con el hall efecto, el cual consiste en el uso de imanes para medir las revoluciones del motor. Al momento de utilizar este sensor se recomienda una distancia precisa/prudente para evitar un desgaste del mismo sensor. ("Sensor magnético (efectos Hall) RPM con 4 imanes," n.d.)



Figura N° 3: Sensor temperatura Loop Eagle tree

Sensor Loop Temperatura

Es un sensor de temperatura circular que se utiliza para medir la temperatura en la caja de combustión, es decir en el pistón del motor. Este sensor soporta una temperatura máxima de 420°F (215.55°C) y es compatible con el Data recorder. ("Sensor de temperatura del circuito del motor," n.d.)



Figura N° 4: Sensor temperatura micro Eagle tree

Sensor Micro de Temperatura

Funciona para medir temperaturas de baterías, variadores de velocidad y la temperatura de los gases expulsados al momento de la combustión. Este sensor soporta una temperatura máxima de 250°F (121.11°C). ("Micro sensor de temperatura *," n.d.)

Metodología



Figura N° 5: Metodología del proyecto

El diagrama de flujo presentado anteriormente, representa los procesos que se realizaron para el óptimo desarrollo del proyecto. Como primera instancia se investigó el respectivo manual de operación del motor Honda GX 160, para así saber sus principales características físicas y operacionales; seguidamente se recurrió al manual de herramientas del dispositivo que permitiría encontrar los pasos para poder llegar hacer el uso adecuado de este programa.

Después de tener conocimiento sobre el manejo y uso del Data recoder, se procedió a tomar los diferentes datos experimentales de Temperatura y revoluciones por minuto en los horarios establecidos por el grupo, con el fin de recolectar información que nos permitiera analizar el rendimiento del motor.

Para el análisis del rendimiento del motor, se utilizó el programa Excel que permitió tabular los datos experimentales y expresarlos en forma de gráficas, para así poder evidenciar de forma más fácil los diferentes comportamientos del motor en las distintas pruebas.

Análisis de datos experimentales del motor Honda GX 160



Figura N° 6: Equipo de sensor RPM Magnético

Con el fin de determinar la cantidad de giros completos realizados por el eje del motor Honda GX 160, se estableció el uso de un sensor magnético que fuerza capaz de obtener las medidas necesarias para su análisis y ser procesadas correctamente en el sistema de adquisición de datos. En presencia de un campo magnético, las cargas en movimiento experimentan una fuerza que es perpendicular a la velocidad de la partícula y al campo magnético. Esta fuerza desvía las trayectorias de las

partículas y provoca una concentración de cargas de un mismo signo en una de las paredes del conductor, y una concentración de cargas de signo opuesto en la pared opuesta. Esta distribución asimétrica de cargas provoca una diferencia de potencial eléctrico entre las paredes del conductor, transversal a la corriente, cuya manifestación es el efecto Hall(Figura, n.d.)

Para la medición de las revoluciones se utilizó un imán de material ferromagnético con la capacidad de retención de estado; es decir, que en cada instante en que un campo magnético se encuentre en área de censado, el sensor cambiará su estado, y a partir de las señales emitidas, el sistema de adquisición de datos eLogger puede registrar el número de revoluciones en un intervalo de tiempo determinado, emitiendo resultados en tiempo real; es importante que el imán vaya fijado al eje del motor y el sensor se encuentre a pocos milímetros de distancia para que sea efectiva la lectura de los datos.

Los resultados expuestos en la gráfica anterior, ilustran los datos obtenidos en la medición de las revoluciones por minuto en un intervalo de tiempo de 1,2 minutos, en función del grado de potencia entregado por el acelerador, (en condiciones de temperatura ambiente). En ella se representa en el eje horizontal el tiempo de análisis empleado para la medición y en el eje vertical las RPM del motor. Dependiendo de cada grado de potencia usado se distingue un intervalo de picos máximos y mínimos sin embargo la trayectoria tiende a mantenerse en un intervalo constante; en la prueba 1 correspondiente al 11,11 por ciento de potencia entregada las RPM registradas se encuentran en un rango constante de 186 y 1626 durante el intervalo de tiempo registrado; no obstante, los picos descendentes hasta los valores cercanos al cero se deben a que la lectura con el sensor magnético no es precisa, puesto que la distancia entre el lector del sensor magnético y el imán no fue siempre estable. En la prueba 2 (22,22% de potencia entregada) las RPM presentan un intervalo entre 848 y 1972 mientras el motor fue acelerado, al igual que en la prueba anterior y en las siguientes existe un porcentaje de error, referente a la precisión de lectura con el sensor magnético.

En la prueba 3 (33,33% de potencia entregada) se distingue un rango entre 166 y 2822 de RPM, finalmente la prueba 4 (66,66% de potencia entregada) cumple con rango de funcionamiento de 126 y 4000 RPM.

A partir de estas lecturas se logró determinar que a medida que se aumenta el grado de potencia del motor (aumentando las aceleraciones) es posible observar el incremento de las RPM de forma constante y además que a potencia máxima las RPM netas de este motor se encuentran en un intervalo de -1500 y 4000 siendo aproximadamente 4000 rpm, superando así las indicadas por el manual de operaciones del motor Honda GX 160.

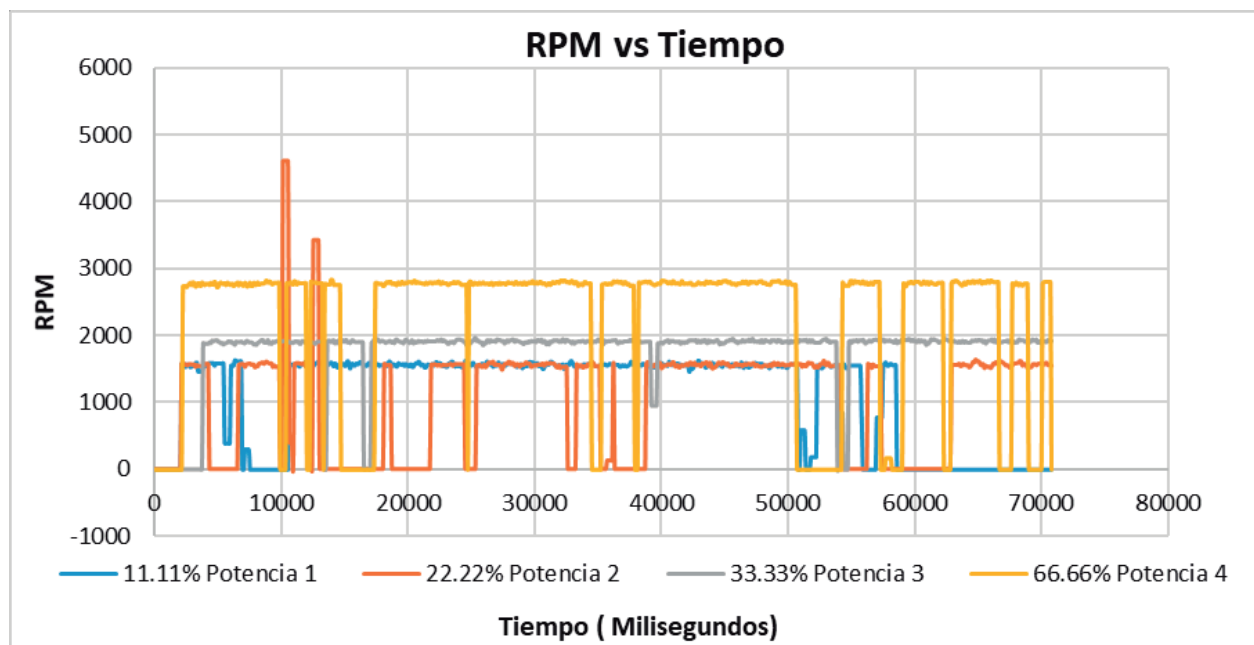


Figura N° 7: RPM vs tiempo. Sensor magnético



En los motores de combustión interna la salida de los gases se ve influenciada por varios factores como lo es la presión, la temperatura, el volumen ocupado por los gases, las fuerzas ejercidas sobre las moléculas, entre otras; y estos factores se ven afectados por el por aspectos geométricos termodinámicos del motor. Sin embargo, en este apartado con el fin de monitorear la temperatura de los gases de escape del motor de combustión interna, con el objetivo de poder procesar estos datos y utilizarlos en el diagnóstico del funcionamiento del motor.

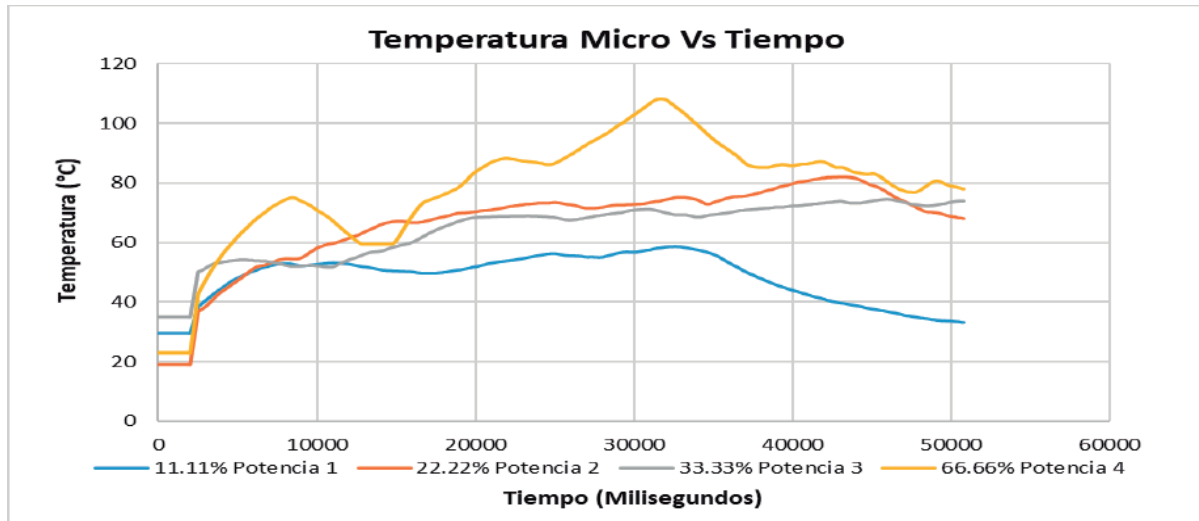


Figura N° 8: Equipo de Sensor Temperatura Micro

(Reyes & Valcárcel, n.d.), se hizo uso del equipo de sensor de temperatura Micro, permitiendo un análisis del comportamiento de estos gases en función del porcentaje de potencia entregado por el motor y el tiempo de operación a condiciones de temperatura ambiente.

Con ayuda de la señal procedente del sensor de temperatura de los gases de escape, el sistema de adquisición de datos conectado al motor permitió el cálculo de la temperatura en el colector de escape en un intervalo de aproximadamente 1 minuto de operación a diferentes grados de potencia generados al aumentar las aceleraciones del motor.

Analizando la gráfica a continuación se logra determinar que la temperatura aumenta a medida que el grado de potencia también lo hace, ya que necesitamos, mayor flujo másico a causa de que las válvulas se abren un poco más y al momento de la apertura se permite una mayor aspiración de aire por tanto el flujo de combustible aumenta; esta lectura permitirá saber si la mezcla de aire-combustible tiene la proporción correcta y las condiciones operativas del motor.



El estudio del proceso real de la combustión en los motores de combustión interna alternativos está afectado directamente por una serie de variables que modifican continuamente las características del proceso. Una de las principales variables es la temperatura dentro de la cámara de combustión

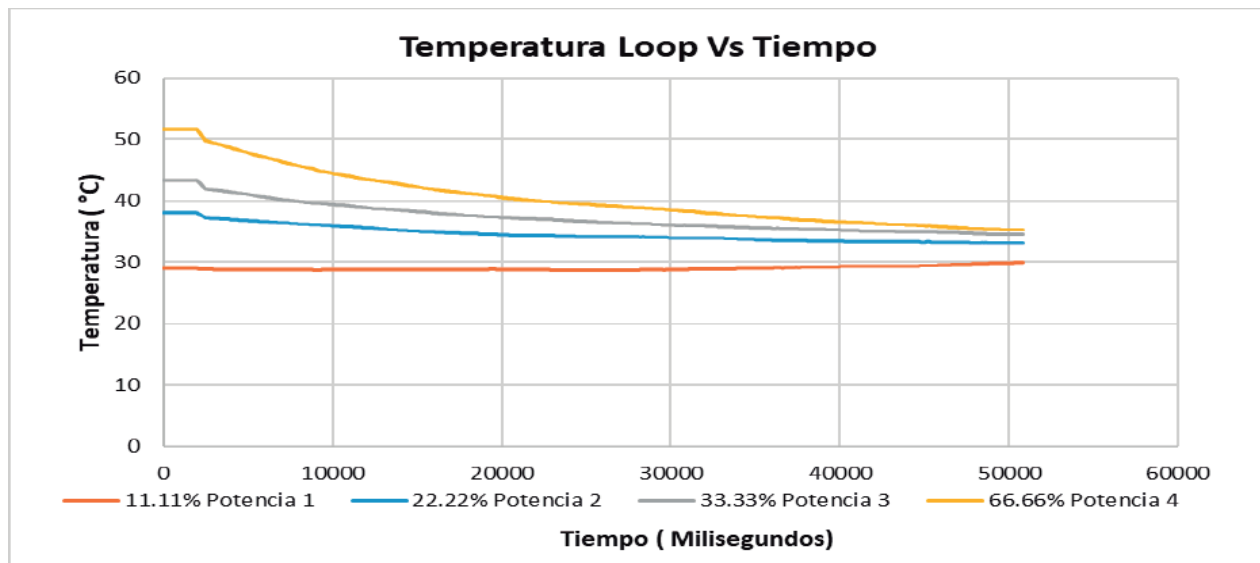


Figura N° 9: Temperatura Vs Tiempo. Sensor Temperatura Loop

La temperatura del pistón es de importancia conocerla ya que los estudios muestran que: incrementando la relación combustible/aire (F/A) se presentan aumentos de presión y temperatura tanto en los valores picos como en los registros promedios, como consecuencia de la gran cantidad de masa de combustible quemado. Esto incrementa la proporción de calor instantáneo liberado por grado de giro del cigüeñal. (Alkidas, 1987; Araque, 1995)

Para llevar las lecturas de temperatura desde el pistón hasta el sistema de adquisición de datos, se empleó el sensor de temperatura Loop, ya que este sensor de circuito cerrado permite la lectura alrededor del pistón, la medición se realizó en un rango de medición de 11,11% hasta un 66,66% de potencia entregada por el motor.

Conclusiones

El uso del sistema de adquisición de datos eLogger brindó la facilidad de adquirir los datos en tiempo real y obtener las curvas características del motor Honda GX160.

La potencia de salida real para el motor instalado en la máquina final variará dependiendo de numerosos factores, incluida la velocidad de operación del motor en la aplicación, las condiciones ambientales, el mantenimiento entre otras variables.

El seguimiento de la temperatura de los gases de escape y de la cabeza del pistón, es una herramienta para diagnosticar el correcto desempeño y funcionamiento del motor.

Referencias

Figura. (n.d.). *INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA PROYECTO DE FIN DE CARRERA*.

Honda Engines. (n.d.). *Motor Honda GX120, 160, 200*. Retrieved from <http://engines.honda.com/parts-and-support/owners-manuals/GX160>

Leads-, M. (n.d.). *Manual básico eLogger V3 EAGLE TREE*.

Micro sensor de temperatura *. (n.d.). Retrieved October 12, 2019, from https://www.eagletreesystems.com/index.php?route=product/product&product_id=67

Motor HONDA GX 160 SX - Motores Estacionarios Honda - Ricardo David Maquinarias. (n.d.).

Reyes, J., & Valcárcel, R. (n.d.). *Monitoreo de temperatura de los gases de escape del motor de combustión interna utilizando microcontrolador (PIC) y asistida PC*.

Sensor de temperatura del circuito del motor. (n.d.). Retrieved October 12, 2019, from https://www.eagletreesystems.com/index.php?route=product/product&product_id=68

Sensor magnético (efectos Hall) RPM con 4 imanes. (n.d.). Retrieved October 12, 2019, from https://www.eagletreesystems.com/index.php?route=product/product&product_id=69

Sistema de adquisición de Datos | Omega Engineering. (n.d.). Retrieved October 10, 2019, from <https://es.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html>

Alkidas A, 1987, *Heat release studies in a divided-chamber diesel engine*, *Journal of engineering for gas turbines and power*. Vol. 109, pp.193-199.

Alkidas A y Myers J, 1.982, *Transient heat-flux measurements in the combustion chamber of a spark-Ignition engine*, *Transactions of the ASME*, Vol. 104

EXPERIENCIA DE AULA, ESTUDIO DE CASO, LOGÍSTICA AERONÁUTICA. UBICACIÓN DE INSTALACIONES

Bernardo Steven Martínez Romero, MSc Universidad de los Andes.
Docente Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea (EPFAC)

Bogotá D.C. - Colombia

Resumen

El siguiente artículo de investigación en aula, se desarrolló durante la formación de pregrado y posgrado en el área de logística, tiene como enfoque la aplicación y exposición de resultados de modelos Heurísticos para la ubicación de instalaciones Logísticas buscando minimizar costos de abastecimiento mediante el uso de coordenadas de Google Maps. Es un ejercicio práctico donde se calculan costos y tasas de reaprovisionamiento basado en pesos colombianos por kilómetros recorridos y kilogramos transportados según una demanda estimada para el abastecimiento de mercados de emergencia para ciudades del país durante un horizonte de tiempo de un año. Se utiliza modos de transporte mixtos, terrestre y aéreo.

Palabras Claves

Logística, Localización de Instalaciones, Cadenas de Suministros, Herramientas TICs Google Maps, Modos de transporte, Costos de abastecimiento.

INTRODUCCIÓN

El artículo es resultado de la actividad y experiencia en aula, enfocada a la aplicación de modelos matemáticos heurísticos para toma de decisiones. asociadas a la ubicación de instalaciones logísticas al interior de una cadena de abastecimiento o para la configuración de una nueva instalación que permita obtener el menor costo de abastecimiento. Una heurística es una estrategia sistémica, un procedimiento práctico, que busca generar alternativas de solución de forma inmediata o gradual. En ingeniería se utiliza para resolver problemas a través de criterios, metodologías y procesos establecidos [3].

Los factores decisivos a la hora de abrir nuevas instalaciones logísticas son principalmente tres:

Factor económico:

La adecuada ubicación de instalaciones logísticas es parte esencial de la configuración de cadenas de abastecimiento sostenibles debido a la inversión económica que conlleva la decisión de abrir un nuevo centro de distribución. Es importante tener claridad que estas inversiones económicas son significativas y deben ser analizadas con rigurosidad en términos de análisis financieros asociadas al presupuesto.

Factor Demanda

La demanda es el principal insumo (parámetro) para los modelos de localización de instalaciones, sus características están asociadas a la concentración de los puntos a visitar, es decir, la ubicación (coordenadas) de los clientes y proveedores dentro de la cadena de abastecimiento, junto con el flujo de mercancías o servicios requeridos en cada uno de estos puntos. Lo anterior, se define como el peso ponderador a la hora de tomar la decisión de abrir más o menos cerca una instalación logística.

Factor Horizonte de tiempo:

Toda decisión económica requiere un plazo de tiempo para recuperar la inversión ROI (Retorno sobre la inversión). En el caso de decisiones asociadas a la ubicación de nuevas instalaciones logísticas. el periodo de tiempo se considera a largo plazo. Lo anterior ligado a la naturaleza y el nivel estratégico que se considera a la hora de diseñar y configurar redes de distribución y cadenas de suministros.

Este artículo se enfoca en la aplicación de modelos matemáticos para generar alternativas, es decir, posibles soluciones en términos de coordenadas de ubicación para nuevas instalaciones logísticas considerando principalmente el factor

demanda como parámetros fundamental y decisivo de los resultados de las heurísticas.

Finalmente, se evalúan y comparan los costos de abastecimiento de las alternativas generadas con los modelos aplicados simulando dos modos de transporte: Aéreo y terrestre

METODOLOGÍA

Como punto de partida se definió un caso problema en aula de clase sobre ubicación de instalaciones al interior de una cadena de abastecimiento. El caso es el siguiente:

Una compañía de asistencia de desastres debe tomar la decisión de abrir dos nuevos almacenes para satisfacer la demanda de los mercados de emergencia de acuerdo con el volumen estimado en kg dado por el gobierno para un año de operación (48 semanas).

Como segunda etapa es necesario abrir una fábrica de empaques que satisfaga la demanda de cajas de las ciudades principales, las cuales son origen de los mercados de emergencia que se llevaran a las zonas afectadas.

La compañía tiene dos modos de transporte para llevar mercados de emergencia a las ciudades afectadas. El primero es un **helicóptero Bell-202** y un **camión NHR**. Las características de estos vehículos son las siguientes:

Características del Helicóptero :

- Capacidad: 14 personas, o carga equivalente
- Costo por galón de combustible se estima \$ 15800 pesos.
- Consumo de Combustible 60 galones cada 2 horas.
- Peso Útil disponible: **2250 kg**

Desempeño

- Velocidad promedio (Vc): 210 km / h.

Características del Camión :

- Costo por galón de combustible se estima \$ 9000 pesos.
- Consumo de Combustible 2 galones cada 36 km.
- Peso Útil disponible: **3000 kg**

Desempeño

- Velocidad promedio (Vc): 60 km / h.

Estas características de los vehículos serán utilizadas luego para el cálculo de las tasas de costos (Rate) según modo de transporte

Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica sobre modelos y técnicas para la ubicación de instalaciones.

Según Steven Nahmias (2007) en su libro *Análisis de la producción y las Operaciones* definido este problema como complejo y estratégicamente importante y planificador. Las instalaciones logísticas necesitan estar cerca de los centros de población de alta densidad clientelar, por lo que los métodos cuantitativos pueden ser muy útiles. En estos casos, debe especificarse cómo se mide la distancia. La distancia en línea recta (también conocida como distancia euclidiana) mide la distancia más corta entre dos puntos.

Sin embargo, la distancia en línea recta no siempre es la medida más apropiada. Por ejemplo, cuando se ubica una estación para un modo de transporte terrestre, debe considerarse la distribución de las calles. El uso de la distancia rectilínea (tal como se mide solamente con movimientos horizontales y verticales) tendría más sentido en este contexto. [1]

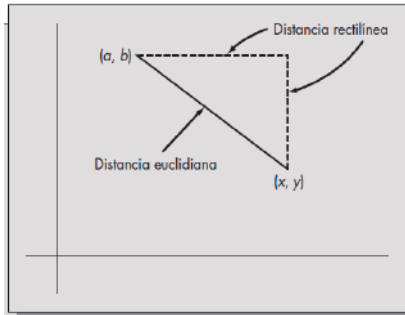


Figura 1. Cálculo de distancias. Fuente Análisis de la producción y las Operaciones. Steven Nahmias (2007)

Cálculo de distancias rectilíneas:

$$d_r = K(|X_i - X| + |Y_i - Y|)$$

Cálculo de distancias euclidianas:

$$d_e = K\sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2}$$

K=representa el Factor para escalar ej: km, Millas, etc

Teniendo en cuenta la bibliografía sobre los modelos heurísticos utilizados en el caso problema definido, se entendieron sus parámetros, variables y se escogieron tres modelos que son:

Centroide:

Es un modelo matemático que contempla las coordenadas existentes de los puntos a abastecer junto con el volumen requerido en cada uno de estos puntos para calcular un promedio ponderado y obtener una coordenada de la nueva instalación logística.

Se calculan las nuevas coordenadas con la siguiente aproximación:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (2)$$

C_x = Coordenada en X del centroide

C_y = Coordenada en Y del centroide

X_i = Coordenada en X de de la i

Y_i = Coordenada en Y de de la i

V_i = Volumen demandado en la i

Donde i corresponded a la ubicación i-ésima

Factor Peso:

Este método contempla el peso o volumen requerido en cada una de las instalaciones que se abastecerán acumulando su valor y encontrado el valor medio que será la mejor alternativa de coordenadas de apertura. Los pasos son los siguientes:

1. El óptimo se calcula con las coordenadas existentes.
2. Se calcula como la mitad del acumulado de los factores de peso después de ordenar de menor a mayor las coordenadas de manera independiente. Tabla para X y para Y
3. Se escoge el primer valor que supere al valor medio para cada coordenada X y Y.
4. Si el valor medio es exactamente la mitad del acumulado de los pesos, nos encontramos en un escenario de óptimos múltiples y serán todos los valores del intervalo de las coordenadas

Centro de Gravedad:

Este modelo contempla las coordenadas de los puntos a abastecer, el volumen de mercancía requerido y la distancia desde el origen como factor ponderador. Es un modelo iterativo, es decir, que se repiten los pasos cambiando las coordenadas de la nueva instalación logística hasta que la variación en costos de abastecimiento sea mínima [2]. La heurística es la siguiente:

1. Determinar coordenadas X y Y para cada punto de origen y de demanda, junto con volúmenes del punto y tarifas de transporte lineal.
2. Ubicación inicial a partir de las fórmulas de centro de gravedad omitiendo la distancia di.
3. Utilizar solución paso dos para calcular d_i no es necesario usar el factor de escala K en este paso.

4. Sustituir d_i en las ecuaciones de coordenadas de la diapositiva anterior.
5. Recalcular d_i con solución paso 4.
6. Repetir paso 4 y 5 hasta que el cambio de las coordenadas sea mínimo o ninguno.
7. Calcular costo total TC.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (4)$$

Donde:

\bar{X}, \bar{Y} = Puntos de coordenada

de la instalacion a ubicar

X_i = Coordenada en X de de la i

Y_i = Coordenada en Y de de la i

R_i = Rate (Tasa) de aprovisionamiento de i

d_i = Distancia de aprovisionamiento a i

Cálculo de coordenadas Google Maps

Se utilizó la herramienta Google Maps para encontrar las coordenadas de las ciudades origen y las ciudades destino de emergencia.

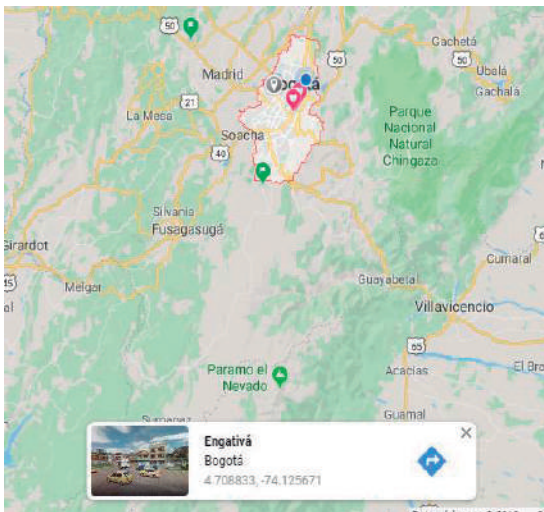


Figura 2. Coordenadas Google Maps Fuente- Tomado de www.google.com.co/maps/

Tabla 1. Coordenadas ciudades de emergencia

Ciudades con emergencia	Modo de transporte	Xi	Yi
Tumaco – Nariño	Camión	1,787061	-78,7903
Buenaventura - Valle del Cauca	Camión	3,883368	-77,0206
Leticia - Amazonas	Helicóptero	-4,19615	-69,9373
Soledad – Atlántico	Camión	10,91753	-74,7943
Riohacha – Guajira	Helicóptero	11,53856	-72,9167
Turbo - Antioquía	Helicóptero	8,095312	-76,7281
Villanueva - Casanare	Helicóptero	4,611252	-72,9272
Cucuta - Norte de Santander	Camion	7,888071	-72,4952

Fuente Elaboración propia

Cálculo de distancias Google Maps

Se utilizó la herramienta Google Maps para encontrar las distancias en kilómetros tanto para el modo de transporte terrestre (línea azul) como el aéreo (línea negra)

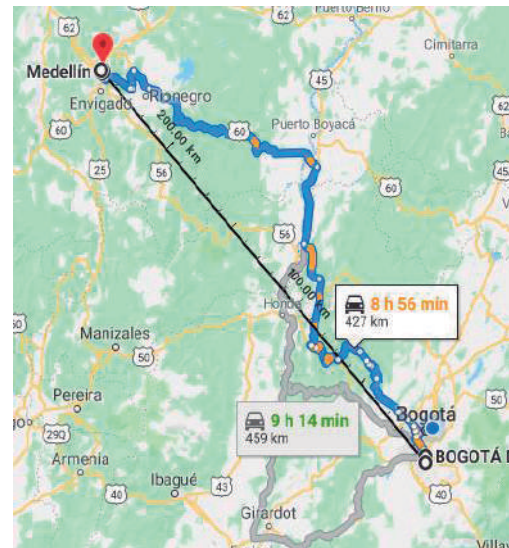


Figura 3. Distancias Google Maps Fuente- Tomado de www.google.com.co/maps/

Cálculo de número de viajes origen destino

Según la capacidad de cada vehículo y el modo de transporte según combinación origen y destino como restricción del ejercicio se calcula el número de viajes para la primera parte del caso.

Tabla 2. Kg destino y viajes según destino.

Ciudades Destino	Demanda en Kg /semana	Viajes semanales
Tumaco	3000	1
Buenaventura	6000	2
Soledad	9000	3
Cúcuta	3000	1
Leticia	2250	1
Riohacha	4500	2
Turbo	2250	1
Villanueva	4500	2

Fuente Elaboración propia

Cálculo de número de viajes origen destino

A continuación, utilizamos la herramienta de Google Maps para determinar las distancias en km según origen / destino y modo de transporte aéreo y terrestre. La tabla 3 muestra estos parámetros y se señala en rojo la máxima y en verde la mínima distancia recorrida.

Tabla 3. Distancias km según origen/destino

PRINCIPAL/E MERGENCIA	BOGOTA	CALI	MEDELLIN	BARRANQUILA
MEDIO DE TRANSPORTE	Helicóptero	Helicóptero	Helicóptero	Helicóptero
LETICIA	1092,73	1123,13	1319,56	1774,7
RIOACHA	770	983,45	656,19	214,22
TURBO	477,01	517,18	242,17	386,17
VILLANUEVA	127,08	419,85	344,04	740,62
PRINCIPAL/E MERGENCIA	PASTO	MONTERIA	BUCARAMANGA	
MEDIO DE TRANSPORTE	Camión	Camión	Camión	
TUMACO	276	1598	1425	
BUENAVENTURA	501	877	812	
SOLEDAD	1630	347	582	
CUCUTA	1333	705	195	

Fuente Elaboración propia

Cálculo de las Tasas de Ri

Los costos se calculan basados en la tasa según modo de transporte, en la distancia recorrida y en el volumen de abastecimiento.

$$CT = \sum_i^n V_i R_i d_i \quad (4)$$

V_i = Volumen en la ubicación i

R_i = Tarifa de transporte a la ubicación i

d_i = Distancia a la ubicación i desde la instalación definida

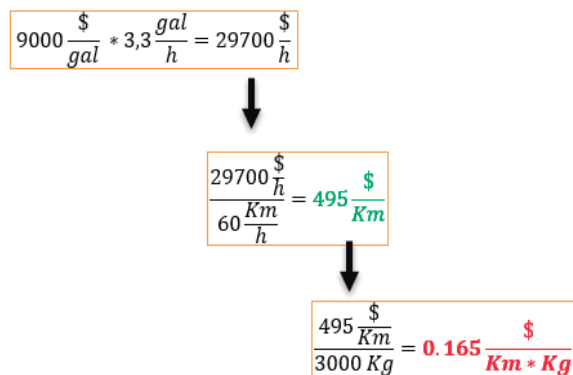
Cálculo de las Tasas de Ri

A continuación, se calcularon las tasas correspondientes R_i según modo de transporte utilizando las características de los mismos citados en la introducción y el caso problema.

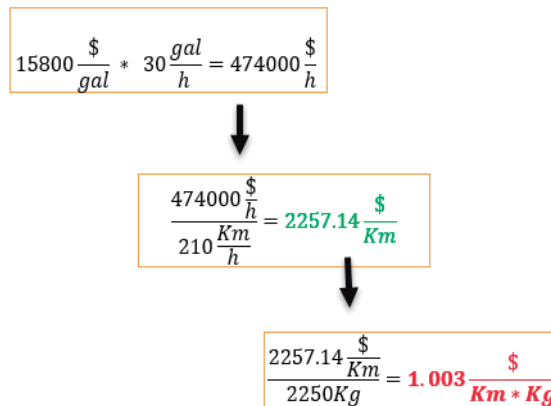
Los cálculos se realizaron con el fin de encontrar el costo por kilómetros y el costo por kilómetro y por kilogramo transportado desde las ciudades origen hasta las ciudades de emergencia.

En la primera parte del caso se contempla el peso de las cajas de los mercados, mientras que en la segunda parte el abastecimiento desde la fábrica únicamente se contempla distancia recorrida.

Los pasos son los siguientes:



La tasa del helicóptero Bell-212 es:



RESULTADOS

Los resultados finales para un año de operación de 48 semanas para la primera parte del caso son los siguientes.

Tabla 4. Resultados selección de ciudad origen para atender emergencias.

CIUDAD ORIGEN/DESTINO	MODO	COSTO TOTAL CON PEAJES
BOGOTA	Hel	\$ 728.909.074,29
CALI	Hel	\$ 963.581.869,71
PASTO	Cam	\$ 442.555.152,00
MEDELLIN	Heli	\$ 771.875.684,57
MONTERIA	Cam	\$ 307.272.096,00
BUCARAMANGA	Cam	\$ 289.459.680,00
BARRANQUILLA	Heli	\$ 882.030.034,29

Fuente. Elaboración propia

Se evidencia que la mejor alternativa es Bogotá para atender los mercados de emergencia de las ciudades con modo de transporte helicóptero y Bucaramanga para las ciudades con restricción camión

Ubicación Fabrica con modelos Heurísticos

Para la segunda parte del caso ejercicio en donde el objetivo es encontrar la ubicación óptima para una nueva fabrica de cajas que abastezca las ciudades principales con material de empaque (cajas) se calcula el número de viajes según la demanda estimada.

Tabla 5. Número de viajes fabrica a ciudades principales.

Ciudades Principales	Modo de Transporte	Número de viajes por semana
Bogota	Helicóptero	6
Cali	Helicóptero	2
Medellin	Helicóptero	4
Barranquilla	Helicóptero	4
Monteria	Camión	6
Bucaramanga	Camión	4
Pasto Nariño	Camión	4

Fuente. Elaboración propia

Después de aplicar el método de Centroide los resultados en coordenadas de Google Maps Fueron:

Tabla 6. Coordenadas Centroide

Cx	Cy	Nombre del lugar
6,33347981	-75,14974334	Santa bárbara Antioquia

Fuente. Elaboración propia

Los costos asociados a este modelo matemático son:

Tabla 7. Costos anuales asociados al Centroide

Centroide	Distancia Km	# viajes año	Costo Semana	Costo Anual
Bogotá	226,63	144	\$ 3.069.218	\$ 147.322.450
Cali	355,14	48	\$ 1.603.203	\$ 76.953.765
Medellin	46,97	96	\$ 424.072	\$ 20.355.456
Barranquilla	520,72	96	\$ 4.701.358	\$ 225.665.170
Pasto	902	96	\$ 1.804.000	\$ 86.592.000
Monteria	435	144	\$ 1.305.000	\$ 62.640.000
Bucaramanga	353	96	\$ 706.000	\$ 33.888.000
Total			\$ 13.612.851	\$ 653.416.841

Fuente. Elaboración propia

Al aplicar Factor Peso el nuevo punto donde se debe ubicar la instalación logística es:

Tabla 8. Coordenadas Centroide

Fx	Fy	Nombre del lugar
6,247637	-75,565817	Medellín

Fuente. Elaboración propia

Los costos asociados a este modelo matemático son:

Tabla 9. Costos anuales asociados al Factor Peso.

Factor peso	Distancia en Km	# viajes año	Costo Semana	Costo Anual
Bogotá	246,66	144	\$ 3.340.481	\$ 160.343.095
Cali	328,81	48	\$ 1.484.342	\$ 71.248.430
Medellin	0	96	\$ 0	\$ 0
Barranquilla	535,43	96	\$ 4.834.168	\$ 232.040.064
Pasto	803	96	\$ 1.606.000	\$ 77.088.000
Monteria	405	144	\$ 1.215.000	\$ 58.320.000
Bucaramanga	392	96	\$ 784.000	\$ 37.632.000
Total			\$ 13.263.991	\$ 636.671.589

Fuente. Elaboración propia

Después de aplicar el modelo iterativo de Centro de Gravedad, es decir, replicar el proceso durante 9 iteraciones se puede constatar que no es posible reducir el costo por debajo del valor que nos

dio el factor peso, es decir, cuando iteremos demasiadas veces el centro de gravedad dará igual que el factor peso. Esto se debe a la configuración de las vías en Colombia debido a que contamos con muchas cordilleras en nuestro territorio, el centro de gravedad debe tener algunos supuestos como el de determinar las distancias por medio distancias rectilíneas haciendo que se busque las rutas viables mas cercanas.

Los resultados obtenidos con Centro de Gravedad son:

Tabla 10. Costos anuales asociados al Centro de Gravedad.

Centro de gravedad				
Destino	Distancia	# viajes x año	Costo Sem	Costo Anual
Bogota	218,33	144	\$ 2.956.812	\$ 141.926.976
Cali	322,27	48	\$ 1.454.819	\$ 69.831.305
Medellin	29,24	96	\$ 263.995	\$ 12.671.781
Barranquilla	548,68	96	\$ 4.953.797	\$ 237.782.235
Pasto	856	96	\$ 1.712.000	\$ 82.176.000
Monteria	430	144	\$ 1.290.000	\$ 61.920.000
Bucaramang	417	96	\$ 834.000	\$ 40.032.000
			\$ 13.465.423	\$ 646.340.297

Fuente. Elaboración propia

Comparando los resultados de Centroide (modelo mas costoso) y Factor Peso con el mínimo costos se encontró el siguiente ahorro:

Tabla 11. Ahorro con la mejor decisión.

Centroide	\$ 653.416.841
Factor Peso	\$ 636.671.589
Ahorro \$	-\$ 16.745.253
Ahorro %	-2,60%

Fuente. Elaboración propia

El ahorro que se obtiene es anual y teniendo en cuenta que este tipo de decisiones de ubicación de instalaciones logísticas es a largo plazo por ejemplo 10 años de operación es un ahorro significativo de 160 millones de pesos.

CONCLUSIONES

Esta simulación como estrategia pedagógica en aula permite al estudiante desarrollar competencias

asociadas a la identificación, formulación y resolución de problemas de ubicación de instalaciones

Con este ejercicio se fortalece el uso de herramientas TICs gratuitas que permiten trabajar con datos reales y enfrentar al estudiante a situaciones problema para la toma de decisiones en su contexto laboral

Este tipo de ejercicios son aplicables a la logística en cualquier modelo de cadena de abastecimiento y para todo tipo de modo de transporte al permitir hacer planeación estratégica a la hora de ubicar instalaciones.

REFERENCIAS

[1] ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y LAS OPERACIONES, Steven Nahmias. 5ta Edición (2007)

[2] LOGISTICA. ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO. Ballou, Ronald. Pearson – Prentice-Hall - 2004 (5 edición)

[3] DESIGNING AND MANAGING THE SUPPLY CHAIN_ CONCEPTS, STRATEGIES, David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi- Cases (1999)

Puesta a punto y análisis operativo de aeronaves no tripuladas de ala fija y ala rotatoria para aplicaciones en medición de gases, toma de datos espaciales y espectrales sobre la troposfera baja

Camilo Enrique León Wilches,
Daniel Fernando Chaves Jota,
Nicolás Ernesto Guttmann López,
Juan Francisco Rueda Orozco,
Tutor: Pedro Luis Jiménez Soler
Universidad de San Buenaventura, Bogotá

Introducción

Los inicios de las aeronaves remotamente tripuladas se dan a la par con los inicios de las aeronaves tripuladas, esto con el fin de evaluar y mejorar los prototipos tripulados. Sin embargo, su primer uso fue en el contexto militar donde el 22 de agosto de 1849 en Venecia, los austrohúngaros lanzaron sobre la urbe centenares de globos sin tripulación cargados de 150kg de explosivos. En 1918 los estadounidenses crearon un biplano el cual consistía en fijar un rumbo y trayectoria de hasta 80km donde el avión apagaba el motor y caía como una bomba sobre su objetivo, en los últimos años los ejércitos del mundo han utilizado las aeronaves no tripuladas para vigilancia y ataque sin tener que arriesgar la vida de los pilotos, (Baquero Antonio, 2018) no obstante en los últimos años los RPAS han sido útiles para otras funciones que buscan beneficiar a la población civil, siendo usados desde recreación hasta para obtención de datos de fenómenos meteorológicos, en agricultura de precisión, topografía, para cine y televisión y muchas funciones más. Estas aeronaves han permitido realizar operaciones que en la antigüedad tuvieron un costo operativo muy alto, con costos moderados, mejoras en la calidad de los datos obtenidos y realizan las operaciones en menos tiempo.

Con el fin de apoyar y facilitar las mediciones de la problemática de contaminación que se vive en el territorio colombiano donde las quemadas realizadas en los llanos orientales para aumentar el PH de la tierra y mejorar la producción de cultivos, y las corrientes de viento que llevan el material particulado hasta el Valle de Aburra, se pretende caracterizar cuatro RPAS pertenecientes al laboratorio de robótica aérea de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá,

determinado la operación mas eficiente que pueda hacer cada aeronave según el análisis de planes de vuelo, perfil de misión, áreas de medición, terrenos de despegue y datos de rendimiento, para con esto obtener un manual de operación y listas de chequeo de las aeronaves.

Antecedentes

En 2018 la universidad de San Buenaventura en sus seccionales Bogotá, Medellín y Cartagena se unió para desarrollar un proyecto de investigación enfocado a la agricultura de precisión y medición de gases atmosféricos en diferentes ciudades de Colombia.

Este proyecto tiene como objetivo principal *“Determinar las concentraciones de gases de efecto invernadero, contaminantes atmosféricos, variabilidades especiales y espectrales de zonas que presentan afectación por utilización inadecuada de suelos, cultivos y líneas de transporte de hidrocarburos, con datos captados por sensores aerotransportados, para medir el impacto ambiental de la transformación de bosque a suelo en Colombia.”* (Jimenez Soler, Castro Castro, & Hernández Barrios, 2018) y con ayuda de la universidad de San Buenaventura sede Bogotá se acondicionarán equipos que logren hacer este tipo de mediciones.

En la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá se han trabajado proyectos de grado enfocados al desarrollo de aeronaves no tripuladas. Estas aeronaves se han dispuesto para diferentes actividades como fotografía aérea y medición de gases en la atmosfera. Estas aeronaves están en el laboratorio de

robótica aérea de la institución y son las aeronaves que se evaluarán para este proyecto.

Titulo. Análisis de parámetros de operación de aeronaves remotamente pilotadas durante misiones de fotografía aérea para aplicaciones en topografía.

Previamente en la Universidad de San Buenaventura en el año 2018 se desarrolló una tesis de grado en la que se evalúan los parámetros de operación de las aeronaves Quadcam1 y USB-rotor X1 para la aplicación en topografía aérea. En este proyecto se toman en cuenta datos de variabilidad espacial para hacer un mapeo del terreno, más específicamente en una cantera en el municipio de Chía, Cundinamarca, Vereda los Laureles en el municipio de Tenjo, Cundinamarca y un lote en la localidad de Suba, Bogotá. Uno de los objetivos específicos de dicha tesis de grado es *“Seleccionar mediante el análisis de los parámetros de operación el sistema RPA que permita realizar modelos de superficie digital.”* (Díaz Villamil & Guzmán Alarcón, 2018).

En el proyecto se seleccionó la aeronave Quadcam1 para la operación de toma de datos espaciales en los lugares ya mencionados, esto permite tener un bagaje previo a la hora de discriminar las aeronaves para los diferentes tipos de operación. Este trabajo de grado otorga una base de la operación de cámaras para la medición de variabilidad espacial, así como los parámetros básicos de operación a tener en cuenta a la hora de realizar las mediciones con la aeronave Quadcam1.

Titulo. Análisis dinámico de la aeronave “Aquila” en condición de vuelo ascenso sostenido.

En este documento se trata el análisis de vuelo en giro sostenido de la aeronave “Aquila”. El objetivo general de este proyecto de grado es *“Analizar, caracterizar y simular el comportamiento dinámico de la aeronave “Aquila” en la condición de ascenso sostenido para mediciones en columna de aire vertical.”* (Blanco & Ibarra, 2018)

Para esto los autores presentan un análisis de rendimiento de la aeronave en sus diferentes etapas de vuelo para un perfil de misión de medición de gases. Habiendo hecho el análisis arrojan un resultado de

“autonomía es de 44 min, techo de servicio de 3.36 Km y rango de 52 km” (Blanco & Ibarra, 2018)

Este proyecto de grado aporta un conocimiento previo para la operación de la aeronave Aquila, parámetros de rendimiento iniciales y manejo de la aeronave en perfiles de misión para la medición de gases.

Titulo. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras

En este documento se desarrolla un estudio y comparación de diferentes tipos de cámaras para la medición de variabilidad espectral utilizando aeronaves no tripuladas. Para esto se determinan condiciones de operación de los UAV's y se estudia el posicionamiento de las cámaras para una correcta medición teniendo en cuenta factores de interferencia entre los equipos para su ubicación. Concluye enfatizando la importancia de continuar con los estudios de los equipos para medición aplicados a UAV's y consejos en cuanto al uso de equipos de fotografía en estas aeronaves. (Deng et al., 2018)

Este trabajo será un punto de partida para el diseño del soporte universal que será desarrollado para los diferentes equipos de medición y guiará el proceso de posicionamiento de cámaras en el soporte.

Titulo. Diseño preliminar de la aeronave atmósfera 1 para la adquisición de datos atmosféricos.

El proyecto de grado da un enfoque práctico a la aplicación de los conocimientos generales para el desarrollo de una aeronave que sea capaz de volar con un perfil de misión enfocado a la medición de gases. Se determina un proceso de diseño preliminar que incluye un paso a paso de los cálculos de rendimiento y estructuras para un UAV como se ve en uno de los objetivos específicos del proyecto que es *“determinar las características aerodinámicas y de rendimiento de la aeronave para la fase de vuelo de toma de datos”*

atmosféricos.”. (barona pardo, farías clavijo, osma torres, & osorio osorio, 2016).

Este documento provee una guía de procedimientos para el cálculo del rendimiento de la aeronave en todas las etapas de vuelo. Esto se podrá ajustar para el perfil de misión que se utilice en la operación de toma de datos atmosféricos, variabilidad espacial y espectral.

Planteamiento del problema

El uso inapropiado de los recursos naturales ha causado que la contaminación a nivel global aumente. Gracias a esto se ven afectadas varias especies de flora y fauna, lo que impacta directamente al hombre, haciendo que este se adapte para sobrevivir en diferentes entornos. (Echarri, n.d.; Gosálbez, 2012)

En Colombia las cosas no son diferentes, el conflicto armado, el crecimiento industrial, así como los malos hábitos de cultivo de los campesinos e industrias presentes en el país, han generado un cambio significativo en las características de la tierra que se usaba para la agricultura. (Echarri, n.d.; Gosálbez, 2012)

La contaminación ambiental que existe en Colombia ha sido un problema en las ciudades más pobladas en la última década. En los últimos años se han visto alertas ambientales por la concentración de gases tóxicos en la atmosfera de las ciudades más grandes como Bogotá, Medellín, Cartagena, Barranquilla entre otras. (IDEAM)

El deterioro de la calidad del aire es causado por el aumento del material contaminante en la atmósfera, el cual se clasifica en PM 10, que son las partículas más grandes, y PM 2,5, las más pequeñas y, por ende, más peligrosas. Estas pueden ser inhaladas por los humanos, llegar hasta sus bronquios, provocando afecciones respiratorias. (El Espectador, 2019)

Colombia es un país con un relieve montañoso variado, cuenta con planicies, montañas, nevados y cordilleras, gracias a esto existen zonas de acceso remoto, donde se dificulta llegar con equipos de medición que permitan el estudio de suelos o aire, pero gracias a satélites y globos de medición se logra encontrar una pequeña solución a este gran problema.

Para la medición de estos gases se utilizan diversos métodos de medición como lo son los globos

meteorológicos y mediciones satelitales los cuales tienen una limitación operativa a la hora de la recolección. Normalmente las mediciones satelitales son efectivas si el cielo está despejado, pero hay un problema en el territorio colombiano y es la nubosidad que se genera al estar tan cerca al ecuador. Este fenómeno natural impide que los satélites sean capaces de captar la atmosfera baja sobre las ciudades. Por otro lado, los globos son una herramienta bastante confiable ya que están dentro de la zona (troposfera baja) en la que se toman las medidas, y a lo largo de la experimentación se han mostrado como un medio confiable. Sin embargo, no son capaces de cubrir una zona de medición muy grande y dependen de las corrientes de viento que puedan afectar las mediciones. (Arturo, Castro, & Jimenez Soler, 2018)

En la universidad de San Buenaventura sede Bogotá existen diferentes aeronaves no tripuladas que no han sido completamente caracterizadas en su operación y rendimiento, las cuales pueden ser utilizadas para la medición de gases, variabilidad espacial y espectral. Para usar estas aeronaves en este tipo de misiones se debe realizar un análisis de rendimiento de sus etapas de vuelo y así detallar un proceso el cual se vaya a utilizar al usar estas aeronaves en las misiones ya mencionadas. Con lo anteriormente mencionado la pregunta de investigación es:

Teniendo en cuenta el ajuste, el análisis operacional y de rendimiento de las aeronaves de la USB BOG, ¿Cómo se pueden implementar las diferentes aeronaves para la adquisición de datos de concentración de gases, variabilidad espectral, espacial utilizando los perfiles de misión más apropiados?

Justificación

La falta de tecnología para cuantificar la calidad de aire en la troposfera baja (Arturo et al., 2018) es el principal fundamento para que se pretenda hacer uso de las aeronaves de la Universidad de San Buenaventura. La integración de dichas aeronaves pretende facilitar la toma de datos y el acceso a la troposfera baja, donde se asume realizar los vuelos de adquisición, puesto que son aeronaves eléctricas y la maniobrabilidad, facilitan el desarrollo de pruebas en diferentes áreas del relieve colombiano.

Dichas aeronaves requieren una caracterización que se logrará por medio de validación de datos teóricos con los adquiridos en vuelos de prueba, esto con el fin de desarrollar manuales de operación que den un paso a paso de alistamiento de equipos, limitantes y operación correcta de las aeronaves, teniendo en cuenta la zona donde sea realice la operación. Así mismo en caso de que se requiriera la utilización de estas aeronaves en otros proyectos o por contratación externa de la universidad que haga uso de estos equipos para mediciones similares o con un objetivo igual al de este proyecto, ya contar unos procedimientos definidos para diseñar misiones teniendo en cuenta el rendimiento, capacidades y limitantes de la aeronave, así como también operar correctamente estas.

Objetivo General

- Poner a punto y analizar la operación de aeronaves no tripuladas de ala fija y ala rotatoria para aplicaciones en medición de gases, toma de datos espaciales y espectrales sobre la troposfera baja.

Objetivos Específicos

- Realizar la puesta a punto y poner en operación las aeronaves del laboratorio de robótica aérea de la USB Bogotá.
- Validar los datos de rendimiento teóricos de forma experimental mediante vuelos de prueba para la adquisición de datos de operación de las aeronaves del laboratorio de robótica aérea de la USB Bogotá.
- Realizar manuales y procedimientos estándares de vuelo de estas aeronaves con base en los datos de rendimiento obtenidos para una óptima operación de las aeronaves.
- Realizar un diseño preliminar y construcción de un prototipo de un soporte universal para equipos de medición de gases y toma de datos espaciales y espectrales fundamentado en las características de rendimiento de las aeronaves del laboratorio de robótica aérea de la USB Bogotá.

Marco Conceptual

Laboratorio de robótica aérea

En la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá se encuentra un laboratorio de robótica aérea el cual apoya las actividades de investigación de la línea de teledetección y sistemas remotos de aeronaves del grupo de investigación Aerotech, El laboratorio posee las diferentes herramientas, y materiales (Destornilladores, Bisturís, Limas, Lijas, Monokote, Madera, Pegantes, etc) para realizar cualquier tipo de reparación a aeronaves remotamente tripuladas, el cual cuenta con aeronaves de ala fija y ala rotatoria como Aquila, ADAS-X1, USB Rotor X-1, Rotor QuadCam que tienen la característica de realizar toma de datos espaciales y espectrales en un tiempo de operación entre 1 y 4 horas, los cuales cuentan con plantas motrices eléctricas y de combustión.

Aeronaves remotamente tripuladas

Teniendo en cuenta que las aeronaves remotamente tripuladas son conocidas por no usar tripulación humana a bordo, sino ser operadas por control remoto desde tierra, estas también pueden ejecutar vuelos autónomos según el plan de vuelo que se le programe la aeronave.

Tabla 1 Aeronaves no tripuladas USB Bogotá

Aeronave	Tipo	Dímetro (m)	Envergadura (m)	Longitud Fuselaje (m)	Peso EW (Kg)	Planta Motriz	Hélice
Aquila	Ala Fija	N/A	2,645	1,97	6,04	Hacker A60-16M KV400	19X12
ADAS-X1	Ala Fija	N/A	2,041	1,513	4,05	AXI 4120/20 KV465	12x7
USB Rotor X-1	Ala Rotatoria	1	N/A	N/A	3,41	Tarot 5008 KV340 (x6)	18X55
Rotor QuadCam	Ala Rotatoria	0,715	N/A	N/A	1,18	Immersion Air 2213 KV 920 (x4)	10x5

Rendimiento

El rendimiento de una aeronave se denomina como la capacidad de la aeronave para desarrollar las etapas de vuelo establecidas, este se ve afectado por diferentes factores como el tipo de aeronave o uso que se le va a dar, así mismo, hay factores externos que afectan los parámetros establecidos inicialmente, ya que, son factores, principalmente, naturales que influyen directamente en la cantidad de sustentación generada por las superficies y el empuje que puede desarrollar el motor o las hélices, el factor principal es la densidad del aire que puede variar directamente con el incremento de la altura de la aeronave y el tipo de misión que esta lleve.

El análisis de rendimiento de una aeronave determina cual es el punto óptimo de diseño y operación de la aeronave, partiendo de un análisis aerodinámico donde es de gran relevancia los aspectos geométricos principales de la aeronave, como lo son la envergadura, área alar y cuerda aerodinámica, ya que es donde se van a soportar las principales cargas de sustentación que experimenta la misma.

El análisis teórico de rendimiento se debe realizar con los parámetros fundamentales de rendimiento, estos corresponden a la relación peso-empuje $\left(\frac{T}{W}\right)$, carga alar $\left(\frac{W}{S}\right)$, el drag parasito $\left(C_{D0}\right)$ y el coeficiente de eficiencia alar $\left(k\right)$.

Perfiles de misión

El perfil de misión es una selección aproximada de las maniobras que tendrá la aeronave en cada etapa de vuelo, el planteamiento de cada perfil de misión determina los parámetros de operación de la aeronave, tiene en cuenta la potencia, empuje, tasa de ascenso y velocidad a la cual debe encontrarse la aeronave, así como los equipos que lleva a bordo con el fin de cumplir cada misión.

“El perfil de misión más crítico pues supone el ascenso desde el nivel del mar hasta la altura máxima de crucero es mostrado en la gráfica a continuación.”(Jiménez, Agudelo, Cerpa, Zuluaga, & Téllez, 2017)

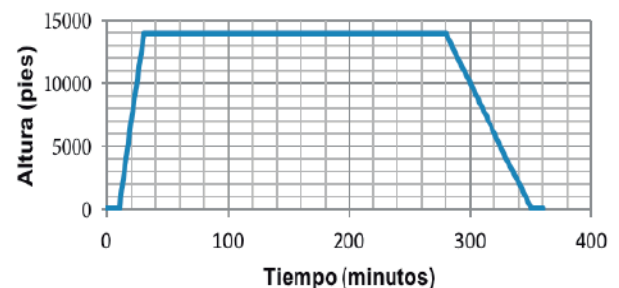


Ilustración 1 Perfil de misión Navigator X-2

Los autores de la Ilustración 1 Perfil de misión Navigator X-2, querían mostrar un perfil de misión del ascenso de la aeronave en una gráfica Altura vs. Tiempo, lo cual les hizo determinar aproximadamente el tiempo de vuelo de la aeronave con una sola etapa de vuelo.

Ascenso

El ascenso es una etapa de vuelo en la cual la aeronave gana altura respecto al suelo, gracias al aumento de sustentación que se genera por el aumento de velocidad y el ángulo de ataque en el que este configurada la aeronave.

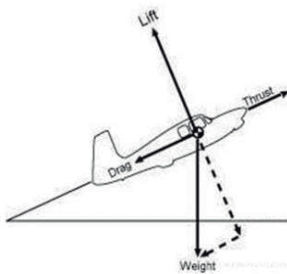


Ilustración 2 Fuerzas en etapa de ascenso

En el ascenso, el peso (W) se divide en dos componentes, en el eje X y el eje Y, lo que hace que la sumatoria de fuerzas dependa del ángulo θ , también hace que parte del peso sea soportado por el empuje de los motores, por esto es una de las etapas más críticas, donde se requiere mayor que corresponde al ángulo que tiene la aeronave respecto al suelo a la hora de comenzar la etapa de ascenso.

Ecuación 1 Sumatoria de fuerzas en Ascenso

$$L = W \cos(\theta)$$

En el ascenso se tiene en cuenta la tasa de ascenso que debe tener la aeronave, hace referencia al exceso de potencia con el que cuenta la aeronave en esta etapa respecto al peso.

Ecuación 2 Tasa de Ascenso

$$R/C = \frac{TV_{\infty} - DV_{\infty}}{W}$$

Si se parte de la Ecuación 2 Tasa de Ascenso, se puede llegar a una ecuación que sea evaluada por medio de los parámetros fundamentales de

rendimiento, como se observa en la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Tasa de ascenso en función de parámetros fundamentales de rendimiento

$$\frac{R}{C} = V_{\infty} \sin \theta = V_{\infty} \left[\frac{T}{W} - \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \left(\frac{W}{S} \right)^{-1} C_{D0} - \frac{W}{S} \frac{2K}{\rho_{\infty} V_{\infty}^2} \right]$$

Descenso

La maniobra de descenso es una de las últimas etapas de vuelo, en la cual hay pérdida de sustentación debido a la disminución de velocidad, en esta etapa la potencia se reduce al mínimo, al límite necesario para no entrar en pérdida, así como también se accionan las superficies de control que permiten reducir el valor de sustentación que mantengan la aeronave en vuelo.

Crucero

El crucero es la fase de vuelo recto y nivelado, donde se igualan las fuerzas de arrastre de la aeronave (D) con el empuje (T), también las fuerzas de sustentación (L) son iguales al peso que tiene la aeronave en vuelo (W). Esta etapa es la más fácil de analizar, ya que las fuerzas se igualan y no varían en gran cantidad.

Giro coordinado

Es una maniobra en la que, como su nombre lo dice, se coordinan varios parámetros en función de la velocidad que lleva la aeronave, para realizar un viraje, el giro coordinado se ve afectado por un radio de giro, que se hace más grande si la velocidad es alta, son directamente proporcionales.

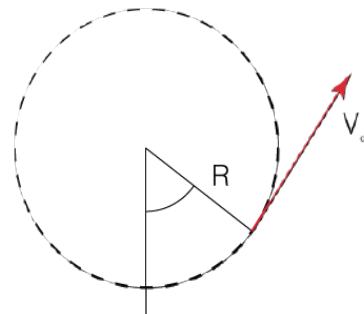


Ilustración 3 Velocidad tangencial y radio en giro coordinado

Durante esta maniobra también se ve como varía la sustentación en función de un ángulo de

banqueo (ϕ). Debido a la velocidad y el giro que esta realizando la aeronave hay una fuerza centrífuga y normal actuando sobre la aeronave, aumentando el factor de carga sobre la aeronave, esto como se observa en la Ilustración 4 Distribución de fuerzas en giro coordinado.

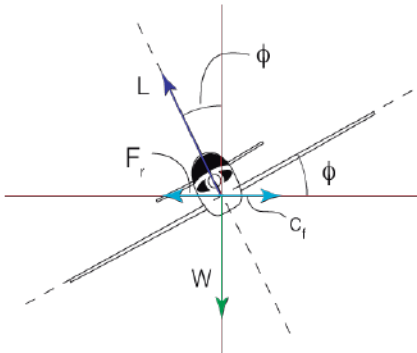


Ilustración 4 Distribución de fuerzas en giro coordinado

Pull up y Pull down

Estos son dos movimientos son maniobras en los que se ve la transición entre el vuelo recto y nivelado hacia el ascenso o descenso, que se ve afectado por la velocidad y varía el ángulo de ataque que lleva la aeronave, aumentado de manera directa el factor de carga de la aeronave.

Despegue

El despegue de una aeronave se trata del cambio abrupto del ángulo de ataque mientras la aeronave está en tierra aumentando la velocidad, para comenzar la fase de ascenso de la aeronave, depende de la normativa por la que este regida la aeronave se debe tener un obstáculo al final de la pista que cuenta con una altura determinada por normativa, esto afecta la velocidad a la que debe ir la aeronave para que la fuerza de sustentación aumente de manera considerable y así esta pueda levantarse la altura necesaria para que sobrepase el obstáculo.

Manuales

El termino manual proviene del latín *manuālis*. la Real Academia Española lo define como “Libro en que se compendia lo más sustancial de una materia” (Real Academia Española, n.d.). Existen varios tipos de manuales cuyo enfoque varía dependiendo de la aplicación que se vaya a dar, en este caso dos tipos de manuales se hacen pertinentes en este estudio, el primero es el manual de procedimientos,

este tipo manual contiene “*descripción de las actividades que se deben seguir para llevar a cabo correctamente tareas, funciones, actividades o sucesión de labores para la realización de un trabajo*”(Significados, 2016), de igual forma íntegra ítems físicos necesarios para el desarrollo de estos trabajos, tales como materiales, componentes, entre otros. (Significados, 2016).

El segundo manual pertinente para el desarrollo de este trabajo es el *manual de usuario*, este manual se caracteriza porque contiene instrucciones y advertencias referidas con el uso de un determinado producto, esto lo hace mediante el uso de un lenguaje simple, donde se emplean textos, imágenes, diagramas y esquemas, donde se explican las detalladamente funciones y limitaciones del producto. (Significados, 2016)

Manuales en aviación

En aviación existen varios tipos definido de acuerdo la normativa aeronáutica alrededor del mundo, la FAA, EASA y la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de colombiana (UAEAC), dividen los manuales según su tipo, aplicación y al personal aeronáutico al que van divididos, sin embargo, en su mayoría podrían estar catalogados como manuales de usuario y de procedimientos.

El Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC) parte 121 titulado “Requisitos de Operación, Operaciones Domésticas e Internacionales, Regulares y No Regulares” define varios tipos de manuales, entre los cuales se encuentran:

- Manual de control de mantenimiento del explotador (MCM)
- Manual de operaciones (MO)
- Manual de operación de la aeronave (AOM)
- Manual de procedimientos del organismo de mantenimiento
- Manual de vuelo (AFM/RFM)
- Manual del explotador para controlar el mantenimiento

Así mismo la SRVSOP define varios documentos del fabricante, adicionales a lo establecido por la normativa colombiana, los cuales son:

- Flight Crew Operating Manual (FCOM)

- Quick Reference Handbook (QRH)
- Flight Crew Training Manual (FTCM)
- Master Minimum Equipment List (MMEL)
- Configuration Deviation List (CDL)

Manual de operación de la aeronave (AOM)

El manual de operación de la aeronave o AOC por su sigla en inglés es un manual que es aceptado por el ente regulador del país donde están contenidos los procedimientos, listas de verificación, limitaciones, información de rendimiento, detalles de los sistemas de la aeronave y otros textos pertinentes a la operación de la aeronave. (Especial, 2018)

Manual de vuelo (AFM/RFM)

El manual de vuelo o AFM por su sigla en inglés, está relacionado con el Certificado de Aeronavegabilidad de la aeronave, en este se encuentran los parámetros bajo los cuales la aeronave se considera Aero-navegable, de igual forma se encuentra la información e instrucciones que la tripulación requiere para operar de manera segura la aeronave. (Especial, 2018)

Procedimiento de Vuelo

Un procedimiento de vuelo es un conjunto de acciones que debe realizar el piloto de forma coordinada o siguiendo una secuencia predeterminada para operar la aeronave. Estos se pueden dividir en diferentes secciones, procedimientos normales, anormales y de emergencia. (Urrutia, n.d.)

Procedimientos Normales

Los procedimientos normales son aquellos que se llevan a cabo durante la operación normal de la aeronave, es un paso a paso que sigue el piloto durante cualquier vuelo a realizar, estos se agrupan de forma subsecuente en el orden que se deben realizar durante el vuelo, o durante las conocidas fases del vuelo.

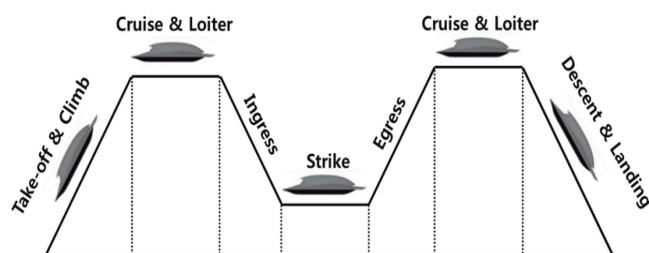


Ilustración 5 Fases de vuelo RPAS de ala fija

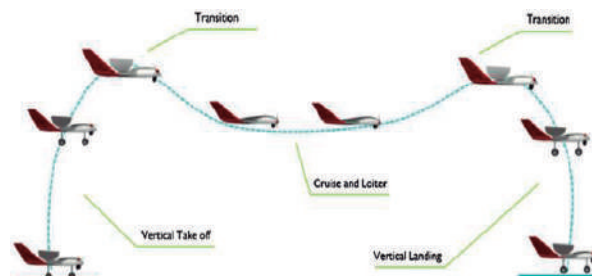


Ilustración 6 Fases de vuelo RPAS ala rotatoria

Lista de chequeo

Una lista de chequeo es un formato creado para realizar actividades repetitivas, controlar el cumplimiento de una lista de requisitos de forma sistemática, son usadas primordialmente en actividades que requieran de comprobación sistemática con el fin de que el trabajador no olvide nada importante en el proceso. (ISOTools, 2018)

En aviación las listas de chequeo son herramientas que ayudan a los pilotos, son diseñadas con el fin de evitar los errores procedimentales provocados por potenciales olvidos u omisión de pasos en los procedimientos.

La OACI establece en el documento Numero 8168, Parte III, Sección 5, Capítulo 2, bajo el título de Listas de verificación, las listas de chequeo o verificación deben “describir las acciones correspondientes a fases específicas de la operación” (OACI. Organización de Aviación Civil Internacional, 2006).

Las listas de chequeo normales son ayudas para la tripulación en el proceso de configuración de la aeronave, estas proporcionan una secuencia lógica de las acciones que se deben ejecutar para cada fase de vuelo.

Optima Operación

Se puede entender como operación optima cuando se realice una misión u operación de vuelo donde la aeronave al desarrollarla vuele en su zona de máxima eficiencia de rendimiento, realice correctamente la misión programada sin importar los

factores externos a la operación que puedan afectar el desarrollo de esta.

Capacidad operativa

La capacidad operativa se puede definir como la posibilidad que tiene una aeronave de desarrollar satisfactoriamente una misión en términos de diseño, rendimiento y adaptabilidad al perfil de misión deseada.

Fases de diseño

Al desarrollar una idea para dar solución a una problemática o dar facilidad a una operación y se pretende su manufacturar, se tienen en cuenta las fases de diseño que podemos ver en la ilustración 2 para lograr una solución rápida y eficiente a la problemática planteada.

Al realizar el análisis del problema se buscan conceptos que permitan plantear diferentes soluciones teniendo en cuenta las restricciones dadas por el mismo problema. Posteriormente se congela un diseño que cumpla con todos los conceptos necesarios, esta primera fase se conoce como Diseño Conceptual.

Posteriormente se entra a analizar la solución planteada en el diseño conceptual donde se especifican dimensiones, materiales, métodos de fabricación, etc. Con esta información se puede realizar la modificación de la solución que más se adecue de acuerdo con costos, facilidad de elaboración, tiempos y otros factores importantes, esta fase se denomina Diseño Preliminar.

Para finalizar y dar solución al problema planteado se especifica en su totalidad la solución elegida en la fase anterior, en esta fase es importante detallar dimensiones realizando planos de las piezas, materiales, métodos de construcción, tolerancias y la forma de ensamble entre sí de las piezas que hagan parte de la solución, a esta fase se le denomina el Diseño Detallado y ya con este es posible fabricar la solución del problema.

Soporte Universal

En la industria existen muchos dispositivos utilizados para la sujeción de diferentes equipos de fotografía y medición de datos variando generalmente por la marca de cada equipo utilizado, es por esto que si se utilizan equipos de diferentes marcas se logre un único sistema de sujeción que sea modular, fácil y práctico para la operación de los equipos, además es

importante que los que para la operación de estos permanezcan estáticos apuntado en una dirección para lo cual en 1976 Garrett Brown invento un sistema que permitía neutralizar los movimientos indeseados del operador de la cámara suavizando y estabilizando la imagen, siendo utilizado inicialmente en películas de Hollywood.(Almodóvar Muñoz, 2015) El *steadycam* el sistema inventado por Garrett Brown o *Gimbal* como se conoce actualmente y funciona para muchos equipos no solo para las cámaras de video. “Un gimbal es una plataforma motorizada y que se controla mediante una placa con varios sensores. Generalmente son acelerómetros y compás magnético que se encargan de mantener un objeto estabilizado en todo momento.”(Ferreño Eder, 2017)

Prototipo

Un prototipo es el primer ejemplar fabricado de un diseño, el cual se vuelve un método de validación, corrección y análisis del diseño donde se permite al diseñador encontrar posibles fallas que haya tenido su diseño inicial y poder corregirlas para un producto final.

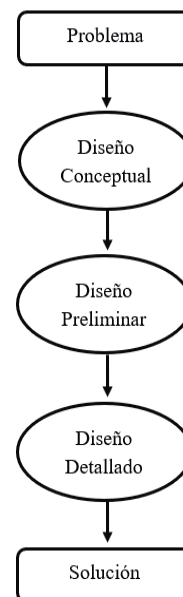


Ilustración 7
Proceso de
diseño

Equipos de medición de gases

Los sensores de gases son dispositivos electrónicos que identifican el tipo de moléculas que existen en el flujo al que están expuestos. Existen diferentes tipos de sensores para cada molécula que se quiera identificar.

Todos los elementos, moléculas y demás objetos tienen una respuesta característica a un estímulo electromagnético en el espectro infrarrojo. La operación de estos equipos consiste en una especie de sonar cuya señal electromagnética emitida se encuentra dentro del espectro infrarrojo, esta señal viaja hasta las partículas del flujo y estas se excitan emitiendo una longitud de onda característica que será detectada por el sensor y de acuerdo con la magnitud de esta señal recibida se calcula cuál es la cantidad de partículas en el flujo.

En este caso se utilizarán sensores infrarrojos cuya función será detectar la concentración de dióxido de carbono, NOX, y material particulado en la atmósfera. (Global Detection Systems Corp, n.d.)

Variabilidad espacial

La variabilidad espacial es un método de reconocimiento de suelo por medio de imágenes. Este método de mapeo de tierras se puede realizar con equipos en tierra de muy alto costo o imágenes satelitales. Otro método que se ha venido utilizando en los últimos años es la medición por medio de cámaras de alta resolución que van acopladas a una aeronave no tripulada. Estas cámaras se conocen como cámaras de medición de variabilidad espacial.

Las imágenes que se pueden ver representadas en la medición de suelos se muestran en la Ilustración 8 Vereda los Lares Tenjo, Cundinamarca.

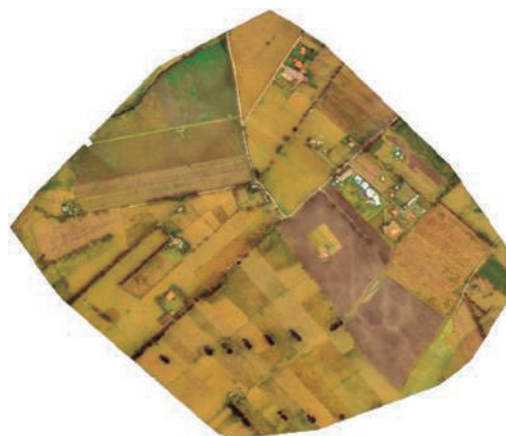


Ilustración 8 Vereda los Lares Tenjo, Cundinamarca

Variabilidad Espectral

La resolución espectral, se refiere a la habilidad de los sistemas de percepción de distinguir y diferenciar entre radiación electromagnética de distintas longitudes de onda. (Díaz García-Cervigón, 2015)

En este tipo de tomas se toma como referencia la longitud de onda de cada componente del suelo para determinar su composición.

Las tomas utilizadas para variabilidad espectral, luego de ser procesadas se ven como se muestra en la Ilustración 9 Fotografía aérea de variabilidad espectral.

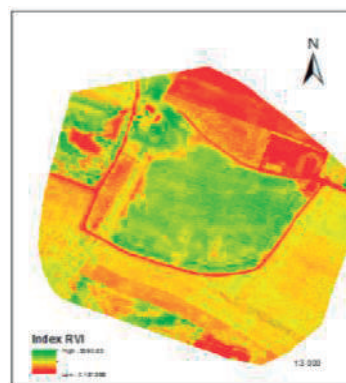


Ilustración 9 Fotografía aérea de variabilidad espectral

MAPIR Survey 2

Es un equipo fotográfico que cuenta con un sensor de 16 megapíxeles, que puede ser controlada por medios electrónicos para su activación y permite

una exportación de imágenes en formatos de alta calidad como lo son. RAW. Es una cámara compacta que se adapta fácilmente a diferentes tipos de montajes y soportes que existen en la industria. (MAPIR, n.d.)

Para esto se puede utilizar un gimball que estabilizara la margen durante el vuelo.



Ilustración 10 Cámara MAPIR Survey 2

Cuenta con 3 sensores ópticos para las longitudes de onda de Rojo, Verde y Azul y el formato en el que se exportan las imágenes permite separar cada una de las imágenes recibidas por los sensores.

Capital Natural

El capital natural según la RAE se define como “Valor de lo que, de manera periódica o accidental, rinde u ocasiona rentas, intereses o frutos”, es decir el capital natural constituye una extensión de la noción económica de capital a bienes y servicios medio ambientales. Se puede inferir que el capital natural es la base de la economía y la agricultura en particular, sin embargo, es un ente invisible desde el punto de vista económico, por ende, en la actualidad el capital natural finito está siendo sobreexplotado mediante el cambio climático, la erosión de los suelos, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad y hábitats silvestres. (Campos, 2010)

Las empresas se benefician del uso de estos bienes y servicios que suministra el capital natural, extraen recursos minerales, vegetales y animales, los cuales son procesados para generar ingresos, tales como energía hídrica, energía solar, entre otras. En dicho proceso de extracción y procesamiento de estos recursos se ocasiona un cambio en el medio ambiente, como por ejemplo el agotamiento por consumo de minas, bosques deforestados, y es hecho de tal forma

que la naturaleza no los puede incorporar a los ciclos naturales. (Ecopetrol, 2016)

Se pueden identificar cuatro tipos de capital natural, estos son:

- Renovable (especies vivas, ecosistemas)
- No renovable (petróleo, carbón, diamantes)
- Recuperable (atmosfera, agua potable, suelos fértiles)
- Cultivado (áreas y sistemas de producción agropecuaria y silviculturales)

Crecimiento Verde

En primera instancia para tratar el crecimiento verde se debe conocer el concepto de Economía verde, este concepto fue introducido en 1989 en el libro *Blueprint for a Green Economy* de Pearce, Markandya y Barbier, donde son discutidas propuestas sobre políticas para alcanzar el desarrollo sostenible, dichas iniciativas de Economía verde fueron elaboradas por el PNUMA. Puntualmente la economía verde se define como “aquella que tiene bajas emisiones de carbono, hace uso de los recursos de forma eficiente y es inclusiva socialmente” (Fairlie, 2014). En este modelo de economía todas las inversiones tanto públicas como privadas deben ser destinadas a la reducción de las emisiones de carbono y la contaminación, deben ser generadoras de empleo y aumentar los ingresos, y de igual manera deben promover la eficiencia energética, el uso de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad. (Fairlie, 2014)

Ahora bien, de acuerdo con la OCDE el “crecimiento verde significa fomentar el crecimiento y el desarrollo económicos y al mismo tiempo asegurar que los bienes naturales continúen proporcionando los recursos y los servicios ambientales de los cuales depende nuestro bienestar” (OCDE, 2011), es decir busca incrementar la producción con recursos naturales escasos, reduciendo el impacto ambiental utilizando eficientemente los recursos.

El crecimiento verde tiene como pilar la innovación, de tal forma que los recursos invertidos consoliden un crecimiento sostenido y cree nuevas oportunidades económicas y buscando de igual manera la inclusividad social.

Metodología

La metodología que se aplicara en este proyecto comienza con un proceso de inspección y verificación de el estado en el que se encuentran las aeronaves. Posteriormente y dependiendo de el estado de cada una, se harán las reparaciones respectivas a todos los componentes que lo requieran. Luego de que todas las aeronaves estén en optimas condiciones para realizar un vuelo, se harán tomas de datos físicos (Distribución de pesos y geometría) para se aplicados en los cálculos de rendimiento de las 4 aeronaves, y se realizaran pruebas operativas del funcionamiento de todos los sistemas esenciales para el vuelo de las aeronaves.

Se empezarán a realizar las listas de chequeo previo a los vuelos. Estas listas contendrán todos los implementos y procesos que habrá que tener en cuenta a la hora de volar las aeronaves.

Para la medición del rendimiento de las aeronaves se realizarán vuelos utilizando el PixHawk, dispositivo que arrojará datos como velocidad, factor de carga en los 3 ejes, ángulo de ataque, etc. Paralelamente se realizarán los cálculos del rendimiento de las 4 aeronaves de manera teórica. Se calcularán todas las maniobras consignadas dentro del rendimiento del marco conceptual en el presente documento.

Se realizará un análisis de los datos obtenidos de forma teórica respecto a los adquiridos de forma experimental. Esta comparación concluirá con los parámetros de rendimiento de las 4 aeronaves para ser aplicado en las maniobras que serán usadas para las misiones de medición. Con los datos obtenidos se procede a la redacción de un manual de uso para cada aeronave.

El proceso anterior se realizará paralelamente con el diseño del prototipo de soporte universal. Para este soporte se iniciará realizando el diseño conceptual hasta llegar a un diseño congelado que se acople a todas las aeronaves. Posteriormente en el diseño preliminar, se evaluarán las características geométricas del diseño, sujeciones, estructura, facilidad de montaje y métodos de manufactura, y así determinar las características idóneas para su construcción.

Desarrollo de Ingeniería

Reportes de vuelo

Aeronave Aquila



Ilustración 11 Aeronave Aquila

Esta aeronave opera con un sistema de control Pixhawk2 (Ilustración 12) el cual se encarga de realizar el plan de vuelo que se le programe a la aeronave además de recolectar los datos de vuelo como velocidades, ángulos de ataque, consumos de batería, altura, ubicación GPS entre otros. Para la comunicación con tierra y obtener todos estos datos en tiempo real el Pixhawk utiliza comunicación serial inalámbrica a 915MHz A una velocidad de transmisión de 57600 baud/s.



Ilustración 12 PixHawk 2

También cuenta con un sistema de control manual Futaba con un radio de 14 canales 14SGA (Ilustración 14) y un receptor de 7 canales R3008SB de (Ilustración 15), además cuenta con 5 servos Hitec (Ilustración 13) los cuales permiten el funcionamiento de las superficies de control de la aeronave (Alerones, elevador, timón de cola, tren de dirección)



Ilustración 13. Servo Hitech



Ilustración 16. Motor HACKER



Ilustración 14. Radio Futaba 14SGA



Ilustración 17. Hélice 19x12

Para el tren de aterrizaje la aeronave tiene 2 llantas de 4.5 pulgadas (Ilustración 18), y una llanta para el patín de cola de 1 pulgada (Ilustración 19).



Ilustración 15. Receptor Futaba R3008SB

La aeronave cuenta con un motor Hacker A6020SV2 KV 245 (Ilustración 16) y con una hélice 19x12 (Ilustración 17).

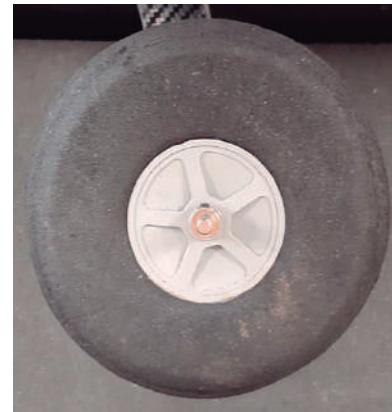


Ilustración 18. Llantas 4.5"



Ilustración 19. Llanta patín de cola

Para que la aeronave y sus sistemas funcionen de forma adecuada esta usa dos baterías JET de 7000mAh de 22.2V, 6S y 35C. (Ilustración 20)

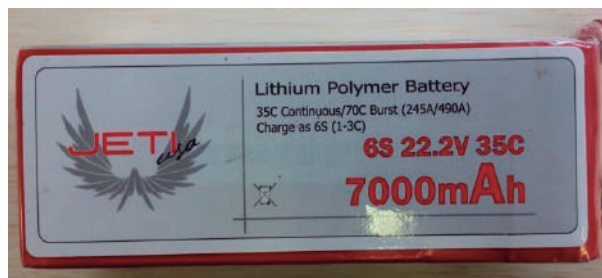


Ilustración 20. Batería JET

Para el ajuste de esta aeronave se realizó una modificación que fue analizada de forma previa en el software XFLR5 donde los resultados fueron satisfactorios. Esta modificación requería cambiar el patín de cola de tal forma que la aeronave tuviese control direccional en tierra donde fue necesario realizar un soporte para el servo que realiza el movimiento, se instaló el tren móvil sobre el tubo de unión del fuselaje empenaje, para esto se realizó:

1. Esquema caja servo
2. Fabricación partes caja servo
3. Ensamble caja servo
4. Instalación tren direccional

Referencias

- Almodóvar Muñoz, J. M. (2015). ¿Que es esto del Steadycam? | flotandosteadycam. Retrieved March 24, 2019, from <https://flotandosteadycam.wordpress.com/2015/03/31/que-es-esto-del-steadycam/>
- Arturo, C., Castro, C., & Jimenez Soler, P. (2018). *Convocatoria Corporativa 001 – 2018 de innovación y transferencia tecnológica y de conocimiento para el fortalecimiento de grupos de investigación e investigadores Anexo 3 - Propuesta de investigación.*
- Barona Pardo, J., Farías Clavijo, M. A., Osmá Torres, J. A., & Osorio Osorio, S. A. (2016). DISEÑO PRELIMINAR DE LA AERONAVE ATMÓSFERA I PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS ATMOSFÉRICOS.

Blanco, J. D., & Ibarra, L. Á. (2018). ANÁLISIS DINÁMICO DE LA AERONAVE “AQUILA” EN CONDICIÓN DE VUELO ASCENSO SOSTENIDO. Bogotá.

Campos, M. (2010). Economía verde. *CEGESTI*, 151(1), 4.

Deng, L., Hu, Z., Mao, Z., Yan, Y., Li, X., & Duan, F. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146(March), 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008>

Díaz García-Cervigón, J. J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión, 78. Retrieved from http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf

Díaz Villamil, S., & Guzmán Alarcón, J. S. (2018). ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS DURANTE MISIONES DE FOTOGRAFÍA AÉREA PARA APLICACIONES EN TOPOGRAFÍA. Bogotá.

Echarri, L. (n.d.). Impactos ambientales de la agricultura moderna.

Ecopetrol. (2016). El protocolo de capital natural. Retrieved February 16, 2019, from <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/contratistas/informacion-general/noticias/2016/contenido/protocolo-capital-natural>

Especial, U. A. (2018). Requisitos de operación operaciones domésticas e internacionales regulares y no regulares RAC121. Retrieved from http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC_121_-_Requisitos_de_Operación_-_Operaciones_Domésticas_e_Internacionales-Regulares_y_no_Regulares.pdf

Fairlie, A. (2014). Crecimiento verde y biocomercio: Una mirada andina. Retrieved from https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/39100928/WP_150_Crecimiento_Fairlie.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y5

3UL3A&Expires=1550425912&Signature=Bq%2BfYrS7dUjt0QV7iq8xE6nO9TU%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DWP_150_Crecimiento_

Ferreño Eder. (2017). Qué es y para qué sirve un Gimbal. Retrieved March 24, 2019, from <https://www.profesionalreview.com/2017/10/26/que-es-un-gimbal-para-que-sirve/>

Global Detection Systems Corp. (n.d.). Find Out How Infrared Gas Detection Works | GDS Corp. Retrieved March 24, 2019, from <https://www.gdscorp.com/infrared-gas-detectors>

Gosálbez, C. (2012). Condiciones de la tierra de cultivo | Planeta Huerto.

ISOTools. (2018). ¿Qué es un checklist y como se debe utilizar? Retrieved March 24, 2019, from <https://www.isotools.org/2018/03/08/que-es-un-checklist-y-como-se-debe-utilizar/>

Jiménez, P., Agudelo, D., Cerpa, R., Zuluaga, E., & Téllez, A. (2017). *Diseño, análisis y validación de aeronaves no tripuladas multipropósito*. Bogotá.

Jimenez Soler, P. L., Castro Castro, C. A., & Hernández Barrios, C. A. (2018). *Convocatoria Corporativa 001 – 2018 de innovación y transferencia tecnológica y de conocimiento para el fortalecimiento de grupos de investigación e investigadores - Anexo 2 Resumen de propuesta de investigación*. Bogotá.

MAPIR. (n.d.). Survey2 Cameras - MAPIR CAMERA. Retrieved March 24, 2019, from <https://www.mapir.camera/collections/survey2>

OACI. Organización de Aviación Civil Internacional. (2006). *DOC 8168 OPS/611. Procedimientos para los servicios de navegación aérea. Operación de aeronaves. Volumen I. Procedimientos de vuelo*. OACI. Organización de Aviación Civil Internacional.

OCDE. (2011). *Hacia el crecimiento verde*. Retrieved from <https://www.oecd.org/greengrowth/49709364.pdf>

Real Academia Española. (n.d.). manual | Definición de manual - Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. Retrieved March 24, 2019, from <https://dle.rae.es/?id=OHuzGA3>

Significados. (2016). Significado de Manual (Qué es, Concepto y Definición) - Significados.

Urrutia, J. (n.d.). *Procedimientos Normales*. Retrieved from http://www.upm.es/sfs/E.U.I.T.Aeronautica/Direccion/Direccion3/Actividades/2010-2011/docs/Conferencia_Juan_Urrutia.pdf

ALGORITMOS COMPUTACIONALES PARA ÓRBITAS DE TRANSFERENCIA CON ASISTENCIA GRAVITACIONAL

Edward Andrés Gil González¹, Jorge Luis Nisperuza Toledo², Gabriel Eduardo Teherán Pérez³

^{1,2} Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá D.C.

³ Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

MODALIDAD: PONENCIA

Resumen

El cálculo de trayectorias interplanetarias es un tema activo de investigación dado el envío constante de sondas a los diferentes planetas de nuestro Sistema Solar. En este contexto, este proyecto aborda el desarrollo e implementación de códigos computacionales en el cálculo de trayectorias de transferencia para el envío de sondas interplanetarias, haciendo uso de órbitas de tipo Hohmann con asistencia gravitacional en pasos intermedios.

Palabras Claves

Elementos orbitales, trayectorias interplanetarias, transferencia de Hohmann, asistencia gravitacional, misión interplanetaria.

Introducción

Este trabajo busca desarrollar e implementar códigos computacionales para el cálculo de trayectorias de lanzamiento para el envío de una sonda desde la tierra hacia diferentes planetas del Sistema Solar, haciendo uso de trayectorias del tipo Hohmann y No-Hohmann, y asistencia gravitacional en pasos intermedios. Lo anterior requiere encontrar los elementos orbitales y las gráficas y de las trayectorias para el envío de sondas desde la Tierra hacia algunos planetas del Sistema Solar.

De igual manera, se pretende desarrollar e implementar códigos en el paquete computacional Matlab para obtener los elementos orbitales de las misiones Mariner 10 (Mercurio), Magallanes (Venus), Mars Global Surveyor (Marte) y Voyager 1 (Júpiter y Saturno), como ejercicio de corroboración de los algoritmos. Este ejercicio dará validez a nuestro código computacional permitiendo proceder a

encontrar los elementos orbitales y las simulaciones de trayectorias de misiones interplanetarias futuras para

ventanas de lanzamiento comprendidas en el periodo 2020-2040.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un algoritmo computacional en Matlab que permita obtener los elementos orbitales para la trayectoria de una nave espacial en viaje interplanetario, haciendo uso de trayectorias del tipo Hohmann y asistencia gravitacional.

Objetivos Específicos

- Sintetizar las ecuaciones de movimiento involucradas en una órbita de transferencia de tipo Hohmann con asistencia gravitacional.
- Desarrollar funciones en Matlab para las ecuaciones de movimiento.
- Desarrollar scripts en Matlab que calculen los elementos orbitales.

Propósito de la investigación

Desde lo disciplinar, el estudio de las órbitas de transferencia adquiere relevancia dado el constante envío de sondas para la exploración planetaria, entre ellas las desarrolladas por las agencias internacionales NASA (National Aeronautics and Space Administration), ESA (European Space Agency), State Space Corporation ROSCOSMOS, y JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency). Los resultados de trabajos de estas características son de constante consulta por los investigadores en el campo de la astronáutica para el desarrollo de futuras misiones.

¹ Edward Andrés Gil González, estudiante Ingeniería Aeronáutica. eagil@libertadores.edu.co

² Jorge Nisperuza Toledo, Ph. D. Director. jorge.nisperuza@libertadores.edu.co

³ Gabriel Eduardo Teherán Pérez, estudiante Ingeniería Mecánica. geteheranp@unal.edu.co

Por otra parte, la determinación de órbitas de transferencia para el envío de sondas interplanetarias requiere el uso de paquetes computacionales que funcionan a modo de "cajas negras", donde el usuario frecuentemente no tiene la oportunidad de conocer la física involucrada en los resultados que arroja el programa. Estos softwares funcionan a modo de entrada-salida, donde el usuario no tiene acceso al *kernel* de las ecuaciones que dan origen a los resultados que arroja el paquete computacional.

Metodología

Con el fin de cumplir los objetivos planteados se estableció el siguiente desarrollo metodológico.

En primer lugar, se realiza consulta por medio de bases de datos científicas como lo son IEEE y Google Académico. Paso seguido se estudian y sintetizan las ecuaciones asociadas a las trayectorias de Hohmann con asistencia gravitacional. En segundo lugar, se escriben y adecúan las ecuaciones de movimiento en lenguaje de programación y códigos computacionales propios de Matlab. Posteriormente se lleva a cabo la generación de la integración de Scripts y Funciones de Matlab. Finalmente, se validan los resultados con paquetes computacionales existentes.

Resultados

La Figura 1. Muestra el ejemplo de uno de los scripts generados, donde el usuario escoge los parámetros de entrada para la misión, y el programa calcula los elementos orbitales de la órbita de transferencia. La Figura 2. muestra uno de los códigos fuente para generar el script.

Los resultados para las misiones planteadas están acordes con los códigos computaciones mostrados en la referencia [1].

Referencias

[1] Sondas Espaciales, Nasa en Español. <https://www.lanasa.net/news/sondas/>.

[2] J. Anderson, 2015. Hohmann transfer orbit [Part of the series Encyclopedia of Earth Science, Editorial Sringer], pp 309-310.

[3] A. Rincon, et al, 2015. On non-coplanar Hohmann Transfer using angles as parameters,

Astrophysics and Space Science, September, vol. 359, Article 6.

[4] H. Curtis, Orbital Mechanics for Engineering Students, Editorial Elsevier- Butterworth Heineman, Sexta edición, 2005.

[5] The Language of Technical Computing, Math Work.

<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

¹ Edward Andrés Gil González, estudiante Ingeniería Aeronáutica. [eagil@libertadores.edu.co](mailto: eagil@libertadores.edu.co)

² Jorge Nisperuza Toledo, Ph. D. Director. [jorge.nisperuza@libertadores.edu.co](mailto: jorge.nisperuza@libertadores.edu.co)

³ Gabriel Eduardo Teherán Pérez, estudiante Ingeniería Mecánica. [geteheranp@unal.edu.co](mailto: geteheranp@unal.edu.co)

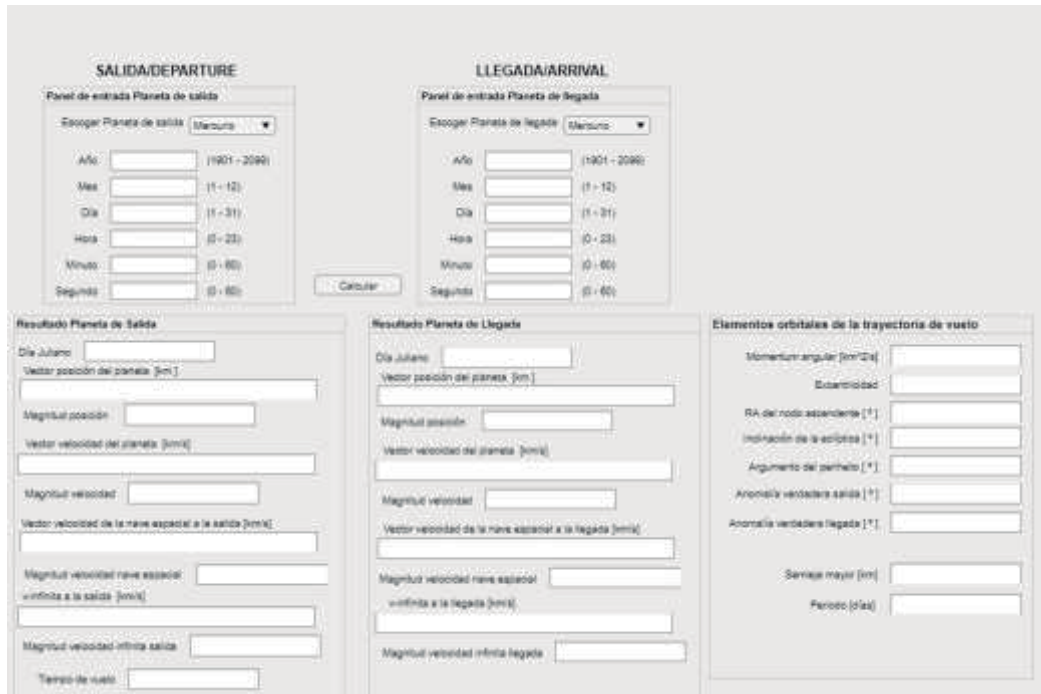


Figura 1. Script.

```

2196  %...function 4.43:
2197  R3_u2 = [ cos(u2) sin(u2) 0
2198           sin(u2) cos(u2) 0
2199           0 0 1];
2200  %...function 4.44:
2201  Q_u2 = R3_u2'*R3_u2'*R3_u2';
2202  %...equation 4.48 of ast & astro column vectors:
2203  r2 = Q_u2*r2;
2204  u2 = Q_u2*u2;
2205  %...convert r and u into row vectors:
2206  R02 = r2';
2207  U02 = u2';
2208
2209  app.vectorposiciondeplanetainfectorna_2.value = num2str(real(R02), '%g %g %g');
2210  app.magnitudposiciondeplaneta_2.value = num2str(norm(real(R02)), '%g');
2211
2212  app.vectorvelocidaddeplanetainfectorna_2.value = num2str(real(U02), '%g %g %g');
2213  app.magnitudvelocidaddeplaneta_2.value = num2str(norm(real(U02)), '%g');
2214
2215  elseif(strcmp(app escogerPlanetaLlegada, 'Mercurio'))
2216
2217      a2 = 30000*elementos(0,1)+ (cent_rates(0,1)*t+142);
2218      app.semimajoraxisdeplaneta_2.value = num2str(a2, '%g');
2219
2220      a2 = 20000*elementos(0,2)+ cent_rates(0,2)*t+182;
2221      app.excentricidaddeplaneta_2.value = num2str(a2, '%g');
2222
2223      R2 = 0.01719782*(1 + 82*2);
2224      app.semimajoraxisdeplaneta_2.value = num2str(R2);
2225
2226      i2 = 20000*elementos(0,3)+ (cent_rates(0,3)/3000)*t+82;
2227      app.inclinaciondeplaneta_2.value = num2str(i2, '%g');
2228
2229      RA2 = zero_to_240(20000*elementos(0,4)+ (cent_rates(0,4)/3000)*t+182);
2230      app.Aslonodocendentedeplaneta_2.value = num2str(RA2, '%g');
2231
2232      u_0at2 = zero_to_240(20000*elementos(0,5)+ (cent_rates(0,5)/3000)*t+82);
2233      app.longituddeplaneta_2.value = num2str(u_0at2, '%g');
2234
2235      L2 = zero_to_240(20000*elementos(0,6)+ (cent_rates(0,6)/3000)*t+82);
2236      app.longituddeplaneta_2.value = num2str(L2, '%g');
2237
2238      u2 = zero_to_240(u_0at2 - RA2);
2239      app.argumentodelperigeo_2.value = num2str(u2, '%g');
2240
2241      R2 = zero_to_240(L2 - u_0at2);
2242      app.Aslonodocendente_2.value = num2str(R2, '%g');
2243
2244  %...agregar 9.3 (for which n must be in radians)
2245  SE = faster_eig(H02);
2246  error = SE-9;
2247  %...select a starting value for B:
2248  B2=0.4deg;

```

Figura 2. Código Fuente.

¹ Edward Andrés Gil González, estudiante Ingeniería Aeronáutica. [eagil@libertadores.edu.co](mailto: eagil@libertadores.edu.co)

² Jorge Nisperuza Toledo, Ph. D. Director. [jorge.nisperuza@libertadores.edu.co](mailto: jorge.nisperuza@libertadores.edu.co)

³ Gabriel Eduardo Teherán Pérez, estudiante Ingeniería Mecánica. [geteheranp@unal.edu.co](mailto: geteheranp@unal.edu.co)

Uso de SAFETY ASSESSMENT AVIATION para la selección de pilotos en la Fuerza Aérea Colombiana

Cr Díaz Alexander, Ct Corzo María A

Jefatura de Educación Aeronáutica, Dirección de Medicina Aeroespacial, Centro de Investigaciones Biomédicas Aeronáuticas y Espaciales- Fuerza Aérea Colombiana - Colombia

RESUMEN

Este artículo pretende determinar el perfil cognitivo - habilidades técnicas requeridas en los alumnos de vuelo de la FAC en la fase primaria, mediante el uso de una herramienta validada psicométricamente a nivel internacional (VTS-SAAIR). Para lograrlo, se realizaron mediciones con un grupo de alumnos de la Fase primaria y básica de vuelo, así mismo, se evaluaron pilotos con experiencia de vuelo (número de horas voladas) con el fin de identificar las habilidades distintivas por línea de vuelo (Combate, transporte, helicóptero y actividades complementarias al vuelo). Metodología: El proyecto se desarrolló en las siguientes fases: Fase I: Adquisición de la Prueba con referentes internacionales, Fase II: Evaluación de alumnos de vuelo, Fase III: Evaluación instructores y Fase IV: Definición de perfiles por línea de vuelo. Al final del proyecto se tendrá un producto denominado “Algoritmo de habilidades cognitivas para la selección de alumnos en su fase de vuelo primario”. Se usaron herramientas de Machine Learning de aprendizaje Supervisado y el algoritmo: Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. Jerome H. Friedman.

Palabras Clave

Habilidades cognitivas, VTS-SAAIR, Inteligencia artificial algoritmos, machine learning, prueba psicotécnica

ABSTRACT

This article aims to determine the cognitive profile - technical skills required in FAC flight students in the primary phase, through the use of a psychometrically validated tool internationally (VTS-SAAIR). To achieve this, measurements were made with a group of students in the Primary and Basic Flight Phase, and it is also intended to evaluate pilots with flight experience (number of hours flown) in order to identify the distinctive skills by flight line (Combat, transport, helicopter and complementary activities to the flight). Methodology: The project was developed in the following phases: Phase I: Acquisition of the Test with international references, Phase II: Evaluation of flight students, Phase III: Instructor evaluation and Phase IV: Definition of profiles by flight line. At the end of the project there will be a product called “Algorithm of cognitive skills for the selection of students in their primary flight phase”. Supervised machine learning machine tools and the algorithm: Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine were used. Jerome H. Friedman.

Keywords

Cognitive skills, VTS-SAAIR, artificial intelligence algorithms, machine learning, psychotechnical testing

INTRODUCCIÓN

Con el rápido desarrollo de la industria aeronáutica aparecieron los primeros criterios selectivos, las exigencias cada vez mayores para los pilotos supuso la adopción de nuevos métodos de tests empleados para la clasificación de los futuros pilotos, en un principio la selección estuvo centrada en condicionamientos físicos (candidatos con resistencia física y coordinación psicomotora, por ejemplo) cuya evaluación corría a cargo de los físicos militares.

Poco después se dio paso a un segundo enfoque selectivo, el de las aptitudes intelectuales, llevado a cabo por los médicos militares. Acto seguido fueron los rasgos de personalidad más adecuados de los pilotos lo cual tomó una nueva orientación, ahora los psicólogos jugaban un papel determinante con el estudio de la personalidad.

También en los instrumentos de medida hubo una importante evolución. De tal modo que, inicialmente la selección utilizó aparatos que permitían determinar cualidades y/o capacidades físicas. Ante la “evidencia predictiva” de la inteligencia, las pruebas de “lápiz y papel” alcanzaron gran protagonismo, que rápidamente dió paso a la entrevista y la observación, para evaluar la personalidad.

Los años siguientes y la Segunda Guerra Mundial, trajeron importantes aportaciones en los tres enfoques, apareciendo nuevos sistemas, nuevos test y métodos. Aunque hoy día las destrezas necesarias para pilotar un avión militar, nada tienen que ver con las de aquellos años, los enfoques selectivos siguen siendo válidos.

Una de las mayores preocupaciones al interior de las Fuerzas Aéreas en diferentes países, es determinar si un candidato a piloto, tiene las condiciones psicofísicas para serlo y que tipo de línea de vuelo es la indicada. Dicha preocupación se basa en el presupuesto económico y las horas de entrenamiento de vuelo perdido cuando un aspirante o alumno de vuelo no cumple con los estándares requeridos y debe ser retirado del programa.

En los Estados Unidos se calcula que de cada candidato a piloto que no culmina su curso representa una pérdida

económica para la Fuerza Aérea entre los US\$50.000 y US\$80.000 (Hunter & Burke, 1987; Carretta, USAF pilot Selection and classification Systems, 1989); por lo anterior una adecuada selección de los alumnos de vuelo aumenta las probabilidades de disminuir las pérdidas económicas resultantes.

Siendo consiente de la anterior problemática, la Fuerza Aérea de Estados Unidos comenzó a utilizar el Air Force Officer Qualifying Test (AFOQT) junto con el test computarizado que analiza cognición o procesamiento de información enmarcados en habilidades verbales, espaciales y memoria a corto plazo y algunos test para evaluar actitudes en torno al riesgo (Carretta, 2000).

Para la realización de pruebas psicométricas, inicialmente se debe tener en cuenta la identificación de los dominios o áreas a evaluar según cada ocupación (ej piloto, navegante, controlador de tráfico aéreo), acto seguido, se escogen diferentes test que evalúan los dominios críticos.

Comúnmente la selección de pilotos incluye las medidas de habilidades, aptitud psicofísica, indicadores de liderazgo y entrevista psicológica (Carretta, 2000). Es así como después de varios análisis en la Real Fuerza Aérea-RAF se identificaron cinco dominios de habilidades relacionadas como las tripulaciones aéreas: Capacidad de Atención, Velocidad mental, habilidades psicomotoras, razonamiento y orientación espacial.

la RAF actualmente realiza la selección basados en 5 habilidades las cuales se resumen en los siguientes componentes: Velocidad de control, Aparato sensoromotor (rastreo compensatorio), comprensión de instrumentos, vigilancia y memoria a corto plazo (Carretta, 2000). Este test desarrollado por la RAF mostró un valor predictivo del 0.52, lo cual es considerado bueno y consistente con los resultados y el desempeño de la selección del personal de pilotos (Burke, Hobson, & Linsky, 1997)

En la actualidad la Fuerza Aerea Colombiana tiene implementado procesos para la selección de alumnos de vuelo altamente efectivos, sin embargo, con el auge de la era digital y de la innovación el área de Factores Humanos emprendió la tarea de perfeccionar sus procedimientos en el uso de pruebas psicotécnicas sistematizadas, con el fin de depurar los métodos y/o procedimientos existentes de

tal suerte que permitiera hacer una predicción lo mas acertada posible frente a desempeños exitosos en vuelo.

En consecuencia a lo anteriormente descrito en el año 2018 la FAC adquirió un Sistema de Evaluación llamado SAFETY ASSESSMENT AVIATION (SAAIR) and Viena Test System (VTS) y desde entonces ha evaluado a los alumnos de vuelo de la Escuela Militar de Aviación – EMAVI en dominios cognitivos tales como, memoria, razonamiento lógico, habilidades numéricas, habilidades espaciales, funcionamiento somato sensorial así como la tolerancia al estrés.

Autor	Pruebas	País	Razonamiento verbal, lógico, matemático, espacial	Habilidades perceptuales	Habilidades de procesamiento de información	Multitarea	Toma de decisiones	Comprensión mecánica	Memoria	Capacidad de atención y vigilancia	Habilidades psicomotoras	Tiempo de reacción
Canada	Canadian Forces Aptitude Test (CFAT)	Canada	x	x	x	x	x	x		x	x	x
US Navy	Aviation Selection Test-Battery (ASTB)	US Navy	x					x				
RAF	The Royal Air Force Aircrew Aptitude Test (RAF AAT)	UK	x	x	x		x		x	x		x
JAR	Aviation Selection Test-Battery (ASTB)	Austria		x		x	x	x	x	x	x	x
US Air Force	Aviation Selection Test-Battery (ASTB)	US Air Force	x	x	x			x		x	x	x
EEUU	Aviation Selection Test-Battery (ASTB)	EEUU	x	x	x					x	x	x
Austria	Aviation Selection Test-Battery (ASTB)	Austria	x	x	x	x				x	x	x

Figura 1. Pruebas comercializadas a nivel internacional

A lo largo de este artículo se expondrá de forma general el uso y los resultados que se obtuvieron con el Sistema VTS-SAAIR a través de herramientas actuales como la Inteligencia Artificial y específicamente el Machine Learning.

1. Descripción del VTS-SAAIR



El conjunto de pruebas SAAIR Safety Assessment Aviation evalúa aspectos de la personalidad y la capacidad cognitiva que son relevantes para la aviación.

Mide criterios como la tolerancia al estrés, memoria, capacidad espacial y coordinación psicomotora, así como aspectos de la personalidad, conciencia y estabilidad emocional.



Figura 2. Alumno de vuelo realizando las pruebas del SAAIR
Fuente: Elaboración propia

La mayoría de las dimensiones han sido validadas en términos de su capacidad para predecir el éxito en una prueba de simulador de vuelo. Se ha demostrado que las pruebas utilizadas cumplen con los más altos estándares psicométricos.



Figura 3. Panel de control - SAAIR
Fuente: Elaboración propia

SAAIR se adapta a las necesidades de la aviación civil y militar y cubre tres áreas: selección de pilotos civiles y militares, preselección de candidatos para pruebas en un simulador de vuelo y pruebas periódicas de la aptitud de los pilotos para volar.

SAAIR se puede utilizar para seleccionar pilotos de todo tipo: aviones comerciales, militares, deportivos y helicópteros.

Puede reducir no solo la carga institucional del proceso de selección, sino también la carga sobre los pilotos y los posibles pilotos en términos de tiempo, estrés físico y mental.

Un nivel generalmente alto de habilidad en todas las áreas relevantes puede considerarse como una condición básica para hacer frente con éxito a las demandas cognitivas impuestas a los pilotos.

Las pruebas utilizadas han demostrado cumplir con los más altos estándares psicométricos, Definiendo un proceso de selección de pilotos estructurado y objetivo, reduciendo costos humanos y financieros a las organizaciones.

1.1. Usos del SAAIR



Figura 3. Simulador de vuelo C-172
Fuente: Elaboración propia

Una vez se definan las competencias técnicas a través de la utilización del Sistema VTS-SAAIR se podrá establecer una línea de base sobre la cual se diseñen planes de instrucción y entrenamiento específicos, es decir, estructurar un plan de entrenamiento y desarrollo de habilidades técnicas a través de la exposición de alumnos de vuelo en misiones de simulador (C-172) que le exijan el empleo y aprovechamiento de habilidades que se identificaron con el Sistema VTS -SAAIR, las cuales serán

motivo de medición y seguimiento a lo largo de un periodo de tiempo, con el fin de comprobar si logró un desarrollo suficiente para iniciar y culminar el curso de vuelo de forma satisfactoria.



Figura 4. Diagrama de retroalimentación
Fuente: Elaboración propia

Con el empleo del simulador de vuelo se diseñarán escenarios y misiones de vuelo adaptadas a los requerimientos de desarrollo que se lograron observar con el uso del VTS-SAAIR

1.2. Inteligencia artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano.

El principal atractivo que la inteligencia artificial aporta al presente proyecto, tiene que ver con el poder gestionar a muchos aspirantes o alumnos de vuelo, analizar un gran volumen de datos e información de forma estandarizada, y al mismo tiempo ofrecer respuestas individuales personalizadas.

Uno de los problemas que a menudo relatan los responsables de seleccionar el mejor candidato para un rol particular, es que pierden muchas horas en analizar información de personas que finalmente no se ajustan al rol o la ocupación requerida. En cambio, un software detecta si un aspirante se adapta o no a una ocupación de en milisegundos, y puede valorar las competencias, habilidades, preferencias o rasgos de personalidad de los aspirantes en relación con lo que le interesa a la organización y quedarse con aquellos de mayor idoneidad.

Otra ventaja muy importante esta relacionada con anticiparnos a la ocurrencia de actos o comportamientos que afectan la seguridad aérea desde el proceso más básico como lo es la selección del personal más competente para pilotear una aeronave. En este sentido se adoptan medidas preventivas que favorecen la mejor integración hombre, máquina, entorno aeronáutico y tecnología.

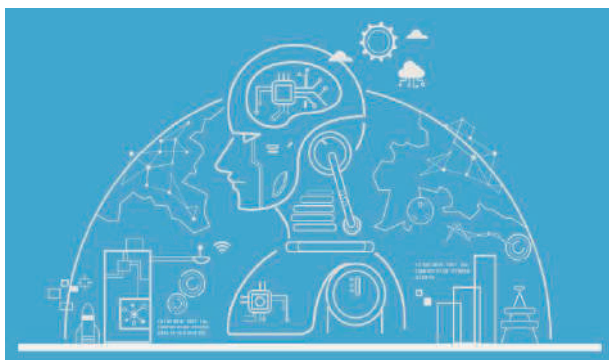


Figura 4. Grafico de Inteligencia Artificial

Fuente: <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-inteligencia-artificial> (2019)

Los avances en IA ya están impulsando el uso de grandes cantidades de datos (big data) y proporcionan ventajas estratégicas y de seguridad aérea en el entorno aeronáutico.

1.3. Machine Learning

Rama del campo de la inteligencia artificial que busca dotar a las máquinas de capacidad de aprendizaje

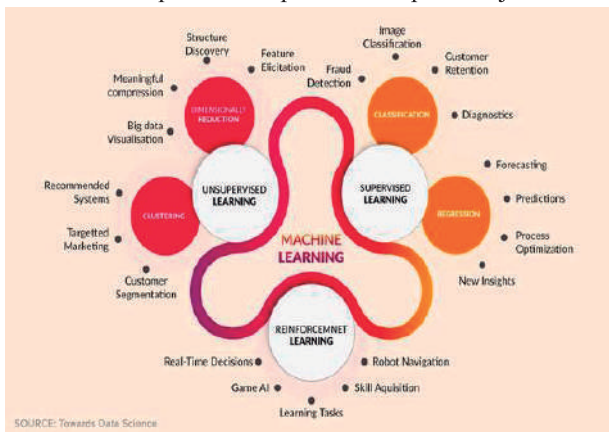


Figura 5. Grafico de Machine Learning

Fuente: <https://www.quora.com/What-are-good-to-learn-machine-learning-algorithms-for-ecommerce-applications>

Mediante el empleo de técnicas de aprendizaje supervisado, tales como predicciones y clasificador

jerárquico, se pretendió identificar que clase de dominios cognitivos están relacionados en términos predictivos con el desempeño exitoso en vuelo, uno de los objetivos específicos del presente proyecto tiene que ver con el diseño de un modelo que permita predecir desempeños exitosos de los alumnos de vuelo en su fase primaria de vuelo.

2. Matriz de complejidad

Observed	Predicted		
	0	1	Percent Correct
0	1,669	68	96.1%
1	60	793	93.0%
Percent Correct	96.5%	92.1%	95.1%

Less correct More correct

Figura 6. Resultados Matriz de complejidad

En el anterior cuadro se puede observar como el nivel de predicción del algoritmo utilizado, Greedy Function Approximation a Gradient Boosting Machine, Jerome H. Friedman fue correcto, en otras palabras, de los alumnos que fueron clasificados con un desempeño satisfactorio en el VTS – SAAIR descritos en el cuadro con el número (1) un porcentaje significativo de ellos presentaron un desempeño exitoso al terminar su fase de vuelo primario (aproximadamente 30 horas máquina).

Por otra parte se puede decir que, los alumnos de vuelo que obtuvieron una calificación no satisfactoria en el VTS-SAAIR descritos en el cuadro con el número (0) un porcentaje significativo de ellos presentaron un desempeño no exitoso al terminar su fase de vuelo primario (aproximadamente 30 horas máquina)

3. PROPUESTA METODOLÓGICA

Fase I: Adquisición de la Prueba con referentes internacionales

Fase II: Evaluación de Alumnos de vuelo

Fase III: Evaluación Instructores

Fase IV: Definición de perfiles por línea de vuelo

El propósito fundamental consistió en validar y normalizar batería de pruebas psicométricas del VTS –SAAIR (Protocolo estandarizado), de tal forma que permitiera realizar una selección objetiva con atributos de predecir desempeños exitosos en vuelo.

4. ANALISIS DE DATOS

Se utilizó la capacidad de Inteligencia Artificial que es una subdisciplina del campo de la informática, que busca la creación de maquinas que puedan imitar comportamientos inteligentes y específicamente Machine Learning que busca dotar a las maquinas de capacidad de aprendizaje.

Dicho aprendizaje lo logra a través de la identificación de patrones complejos de grandes cantidades de datos, con el fin de predecir comportamientos mediante algoritmos.

El algoritmo utilizado durante el análisis de datos fue, Greedy Funtion Aproximation a Gradient Boosting Machine, Jerome H. Friedman, Febrero 24,1999 (modified March 15, 2000, April 19, 2001).

5. RESULTADOS

A Través del Sistema VTS-SAAIR que incluye en su protocolo estandarizado varios dominios cognitivos (competencias técnicas) que están relacionados con la capacidad del piloto para enfrentar con éxito diferentes situaciones en vuelo, se logró identificar los siguientes dominios cognitivos que tienen mayor peso predictivo frente al desempeño exitoso en la actividad de vuelo.

<i>Vigilancia en Vuelo</i>	
----------------------------	--

<i>Capacidad de resistencia</i>	DESEMPEÑO EXITOSO EN VUELO
<i>Razonamiento lógico</i>	
<i>Coordinación ojo - mano</i>	
<i>Atención enfocada</i>	
<i>Habilidad espacial</i>	

6. CONCLUSIONES

El proyecto implementado permite:

- Potenciar la toma de decisiones a través de modelos probabilísticos – Machine learning
- Engranar procesos de entrenamiento – EBT a través de la Identificación de competencias técnicas y no técnicas desde la fase primaria de vuelo.
- Adaptar y validar pruebas sistematizadas para la evaluación de pilotos permite responder a las necesidades propias de la organización.
- Estimar la predictibilidad de la prueba (VTS-SAAIR) frente a desempeños exitosos en vuelo.

Bibliografia

Gradwell, D., & Rainford, D. J. (2006). *Ernsting's Aviation Medicine* (Fourth ed.). London, United Kingdom: CRC Press.

Carretta, T. (1989). USAF pilot Selection and classification Systems. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 6, 46-49.

Hunter, D., & Burke, E. (1987). Computer-Based selection testing in the Royal Air Force. *Behavior Research Methods, Instruments & computers*, 19 (2), 243-245.

Carretta, T. (2000). U.S. Air Force Pilot selection and training methods. *Aviation, Space and environmental Medicine*, 71 (9), 950-6.

Burke, E. (1993). Pilot selection in NATO: An overview. *Proceedings of the Seventh International Symposium on Aviation Psychology* (pp. 373-378). Ohio: R. S. Jensen & D.

Li, L. (1993). On military pilot selection. *Psychological Science* (16), 299-304.

Hilton, T., & Dolgin, D. (1991). Pilot selection in the military of the free world. In G. Gal, & A. Mangelsdorff, *Handbook of military psychology* (pp. 81-101). New York: Wiley.

Burke, E., Hobson, C., & Linsky, C. (1997). Large sample validations of three general predictors of pilot training success. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7, 225-234.

ETS. (n.d.). *Aviation Selection Test Battery (ASTB)*. Retrieved from <http://www.med.navy.mil/sites/nmotc/nami/pages/astboverview.aspx>

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE VUELO PARA EL COHETE USB - ROCKET I

*Germán Reyes R. Luis Á. Hernández C., J. Alejandro Urrego P., Luisa F. Mónico M.
Programa de Ingeniería Aeronáutica, Universidad de San Buenaventura, Bogotá D.C.*

Resumen

En el presente documento se describe el proceso de diseño, construcción y caracterización de un dispositivo de adquisición de datos a emplear durante un vuelo normal del cohete USB - Rocket I. Se presentan las principales condiciones que se obtienen simulando un vuelo del cohete, propulsado por un motor de combustible sólido comercial tipo J.

Posteriormente, se presenta el diseño y la construcción realizados para obtener un circuito capaz de integrar diferentes elementos de adquisición de datos de vuelo y de la atmósfera.

Finalmente, como resultado preliminar, se muestran las principales medidas registradas durante una prueba de desplazamiento horizontal, y una prueba de medición en un vuelo comercial.

Palabras clave

Adquisición de datos, Cohetería experimental, Combustible sólido, Raspberry Pi.

Introducción

En este documento se presenta el trabajo desarrollado para realizar el diseño y la caracterización de un dispositivo de adquisición de datos a emplear en el cohete USB - Rocket I, construido en la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.

Se realiza el trabajo al evidenciar la carencia de un dispositivo de esta clase desarrollado y probado exitosamente en el ámbito académico, dado que los dispositivos empleados en cohería experimental son, en su mayoría, de adquisición comercial.

Se encontró que, para diferentes lanzamientos de cohería experimental realizados en Colombia, se han empleado sistemas de adquisición de datos y telemetría comerciales [1] [2].

Por otra parte, se encontraron diferentes trabajos para desarrollar sistemas de telemetría y centros de control para cohería que no pudieron ser

desarrollados completamente por problemas en la integración de los componentes [3], o no fueron probados en condiciones de vuelo, reales o simuladas [4].

Del trabajo desarrollado por Gülhan *et al.* [5], se menciona que los elementos de un sistema de adquisición de datos construido podían monitorear presión, flujo de calor, temperatura, deformación de las aletas, además de contar con cámaras para la filmación del vuelo. En otro sistema de adquisición de datos desarrollado por la Universidad de Waterloo en Canadá [6], se incorpora un GPS, altímetro, y sensores para la medición de presión, temperatura y aceleración.

Dentro del marco de este trabajo, se desarrolló un dispositivo capaz de realizar la adquisición de variables atmosféricas (presión y temperatura), así como variables resultantes del vuelo (altitud, velocidad, aceleración y posición geográfica) durante un vuelo normal del cohete experimental USB - Rocket I, considerando las condiciones resultantes de la propulsión con un motor sólido tipo J.

Además, se prueba el equipo en condiciones diferentes, para comprobar su desempeño en ambientes relativamente parecidos a los de un vuelo de cohete.

Caracterización del cohete USB - Rocket I y simulación de un vuelo normal

El cohete USB - Rocket I, mostrado en la Figura 1, es un modelo ensamblado en la Universidad de San Buenaventura, Bogotá. Tiene una longitud de 1.14 metros, un diámetro de fuselaje de 3 pulgadas y una masa (incluyendo el motor) de 2.5 kg. Presenta además tres aletas para la estabilización, cada una con una semi-envergadura de 0.09 m.

El cohete se construyó empleando un fuselaje de adquisición comercial, que se reforzó con fibra de vidrio. Además, los mamparos de la bahía de carga se

manufacturaron por impresión 3D empleando Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS por sus siglas en inglés).



Figura 1. Cohete USB - Rocket I sobre su plataforma de lanzamiento. (Imagen obtenida durante el proceso para certificación Tripoli)

Un vuelo normal del cohete USB - Rocket I consiste en despegue, ascenso propulsado, apagado del motor, ascenso inercial, apogeo, apertura del paracaídas, y descenso con paracaídas. Con el fin de determinar las variables más importantes presentes en un vuelo normal del cohete USB - Rocket I, propulsado con un motor tipo AeroTech J270W, se realizó la simulación en RockSim® [7] y se obtuvieron las principales curvas del vuelo: número de Mach, altura, aceleración, entre otras [8] [9]. Las condiciones iniciales consideradas para la simulación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones iniciales de simulación para el modelo en RockSim®.

Parámetro	Valor
Altitud de lanzamiento	Nivel del mar
Humedad relativa	50 %
Temperatura	25 °C
Presión Barométrica	1.013 bar
Velocidad del viento	0 - 4.667 km/h
Ángulo de lanzamiento	89°

Los principales resultados obtenidos de la simulación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la simulación del modelo.

Parámetro	Valor
Máximo número de Mach	0.893
Máximo empuje entregado	350.8 N
Tiempo de apagado del motor	2.6 s
Aceleración máxima	178,9 m/s ²
Velocidad máxima	303.5 m/s
Altitud de apogeo	1965 m
Tiempo al apogeo	17.52 s
Tiempo total de vuelo	400 s
Rango (velocidad de viento 5 kts)	250 m
Variación del margen de estabilidad estático	2.52 in - 3.68 in (Estable)

En la Figura 2 se muestra la variación del número de Mach respecto al tiempo, durante la primera fase del vuelo del cohete, hasta la apertura del paracaídas. Se observa el número de Mach máximo de 0.893, aproximadamente a los 2.2 segundos del vuelo.

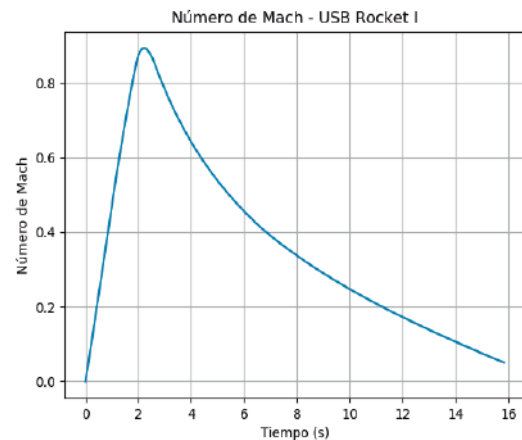


Figura 2. Variación del número de Mach en el tiempo.

En la Figura 3 se muestra la variación de la altitud calculada durante la simulación, en el recorrido del cohete respecto al tiempo de vuelo. Se observa que, cuando se alcanza la altura de apogeo aproximadamente a los 17 segundos del vuelo, se abre el paracaídas, lo que proporciona un descenso a velocidad prácticamente constante.

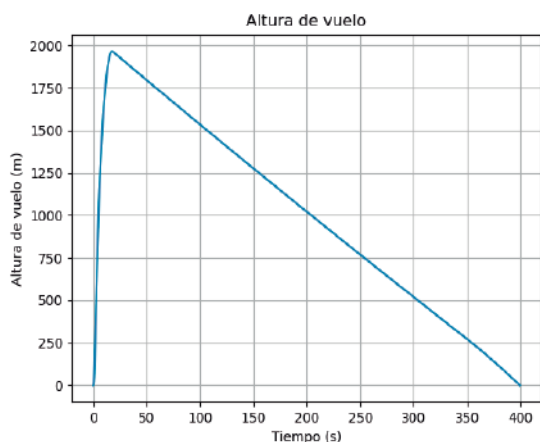


Figura 3. Variación de la altura respecto al suelo durante el vuelo.

Diseño del circuito de adquisición de datos

El diseño del circuito electrónico para la adquisición de datos de vuelo del cohete USB - Rocket I se realizó en tres etapas. En primer lugar, se definieron los requerimientos del circuito y las variables a obtener durante el vuelo. Posteriormente, se seleccionaron los componentes para adquisición de datos y la plataforma para la integración de los elementos de medición. Por último, se diseñaron y manufacturaron los circuitos impresos, y se integraron los componentes a la placa. Además, se realizaron pruebas de medición para verificar la integración correcta de todos los elementos.

Definición de requerimientos y variables

Se definieron los siguientes requerimientos para el diseño del circuito de adquisición de datos:

- Integración con las dimensiones geométricas de la bahía de carga del cohete USB - Rocket I.
- Capacidad para almacenar los datos recolectados durante el vuelo.
- Resistencia estructural ante condiciones de alta aceleración.
- Capacidad de funcionamiento en las condiciones de la atmósfera a la altura del apogeo.

Además, tomando los resultados obtenidos en la simulación del vuelo en RockSim®, y considerando los requerimientos planteados para el proyecto, se definieron las siguientes variables de medición:

- Temperatura de la bahía de carga.
- Presión atmosférica.
- Aceleración, velocidad y altitud durante el vuelo.
- Posición del cohete en coordenadas geográficas.

Selección y calibración de componentes

Se seleccionaron los siguientes componentes para la medición de las variables:

- Sensor de presión barométrica y temperatura BMP180. Presenta un rango de medición de la presión atmosférica de 300 a 1100 hPa, una temperatura de medición de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, y una resolución en el cálculo de la altitud de $\pm 1\text{ m}$ [10].
- Acelerómetro y giroscopio MPU6050. El sensor tiene un rango de medición de $\pm 16g$, mientras que el giroscopio puede medir una velocidad angular de entre $\pm 2000\text{ }^{\circ}/s$.
- Acelerómetro LIS331. Presenta un rango de medición de $\pm 24g$, que resulta adecuado para las condiciones de operación del cohete durante el despegue.
- Tarjeta GPS L86. El módulo puede recibir la señal de los satélites GPS y GLONASS garantizando una resolución menor a 2.5 m [11].
- Módulo de reloj DS1307, para conservar la hora real en el sistema.
- Raspberry Pi3 B+. La placa cuenta con un procesador de 64-bits a 1.4 GHz, conexión inalámbrica, cuatro puertos USB, puerto para conexión Ethernet, Bluetooth y 1 GB de memoria SDRAM [12]. Se programó con el sistema operativo Raspbian.

Por medio de librerías de código proporcionadas por los fabricantes de los sensores, se realizó la configuración y verificación de los datos medidos.

El sensor BMP180 se encuentra calibrado por el fabricante [13]; sin embargo, se debe añadir en el código de lectura del sensor un factor de corrección para el cálculo de la altitud por presión atmosférica. Para efectos de calibración, se considera la información del QNH obtenida del METAR del aeropuerto más cercano:

SKBO 151400Z 12010KT 9999 FEW023
BKN200 18/07 A3039 NOSIG

En la ciudad de Bogotá, se obtuvo una medición de temperatura de 19.50 °C, y un valor de presión atmosférica de 754.33 hPa, que corresponde a una altitud de 2544 m.

La calibración del sensor MPU6050 se realizó adaptando un código de acceso abierto disponible en [14]. Realizando una prueba estática con el eje “y” del sensor orientado en la dirección vertical, se obtiene para este eje una medición de la aceleración de 0.9948g, mientras que los otros ejes miden una aceleración cercana a cero. Así mismo, para las mediciones del giroscopio, se evidencia que los tres ejes presentan valores cercanos a cero grados por segundo. Obtenidos estos valores, se determinó mantener estas condiciones de calibración para el sensor.

Se modificó el código desarrollado por Fox [15] para el acelerómetro LIS331, y se determinó mediante una prueba estática que la aceleración en el eje vertical del sensor corresponde a un valor de -0.94995g, mientras que las mediciones de aceleración en los otros dos ejes son cercanas a cero.

Por último, se obtuvieron las mediciones del GPS, lo que permitió determinar que el rango de precisión para la latitud, longitud y altitud es adecuado.

Diseño de circuito impreso

El diseño del circuito impreso para el sistema de adquisición de datos se realizó en KiCad [16]. En la placa se encuentran todos los elementos propuestos para el sistema: sensor BMP180, módulo MPU6050, acelerómetro LIS331, reloj DS13007 y receptor de GPS L86. Además, se dejaron dos espacios adicionales para dispositivos I²C, tres espacios para botones y tres para LEDs de montaje superficial. También se incluye un LED como indicador de la señal del GPS. Se seleccionaron dos baterías de ion litio de 3.7 voltios y 3000 mAh cada una, para la alimentación del sistema.

La impresión de la placa y la soldadura de los componentes se realizaron en Colcircuitos SAS. En la Figura 4 se muestra el ensamble de la placa de sensores del sistema.

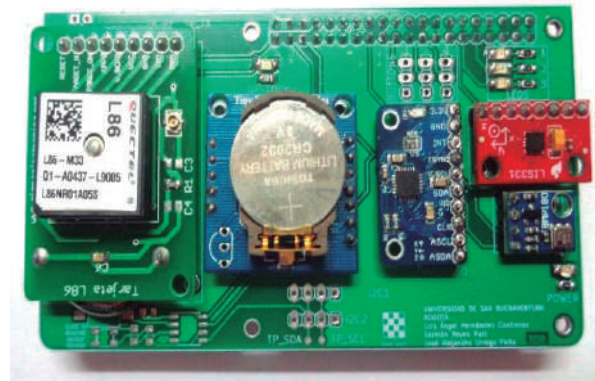


Figura 4. Placa de sensores finalizada.

Desarrollo de servidor para verificación de parámetros en fase pre - vuelo

Con el fin de tener acceso a las mediciones realizadas por el sistema de adquisición de datos en los instantes previos al vuelo del cohete, y para verificar el funcionamiento correcto del sistema una vez instalado, se desarrolló un servidor web con una interfaz gráfica, que funciona con la red de conexión inalámbrica creada por la Raspberry Pi.

Se empleó un protocolo de comunicación cliente/servidor por medio de conexión tipo *websocket* [17]. Se trabaja mediante la interacción de petición y respuesta entre el cliente y el servidor. En este caso, el servidor es proporcionado por el sistema de adquisición de datos, mientras que el cliente es una interfaz web HTML ejecutada en otro dispositivo.

Las variables analizadas son:

- Datos del GPS: altitud, latitud, longitud, número de satélites conectados y tiempo de medición.
- Datos del BMP180: altitud por presión y temperatura.
- Datos del MPU6050 y del LIS331: aceleración en la dirección del movimiento y altitud por integración numérica de la aceleración.

En la Figura 5 se demuestra la viabilidad de la interfaz web para monitorear parámetros, previo a una misión de vuelo del cohete.

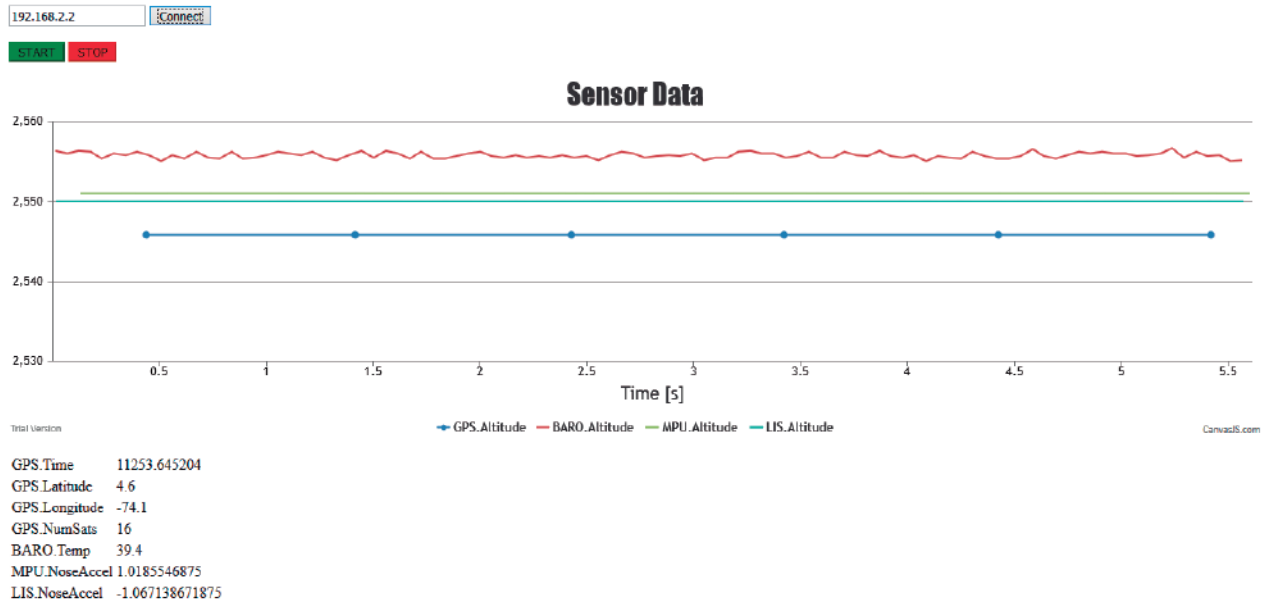


Figura 5. Interfaz gráfica del cliente HTML.

Construcción de bahía de carga para soporte del sistema de medición electrónica de datos

Se realizó el diseño y la construcción de una base de soporte para los componentes electrónicos del circuito. Además, se adaptó la bahía de carga del cohete USB - Rocket I para poder llevar la carga paga de los elementos de medición.

La base de soporte para la electrónica se diseñó en CATIA V5, como se muestra en la Figura 6. Se consideraron los tamaños de los elementos, y el espacio disponible. La base diseñada se construyó mediante manufactura aditiva FDM (Fused Deposition Modeling) en ABS.

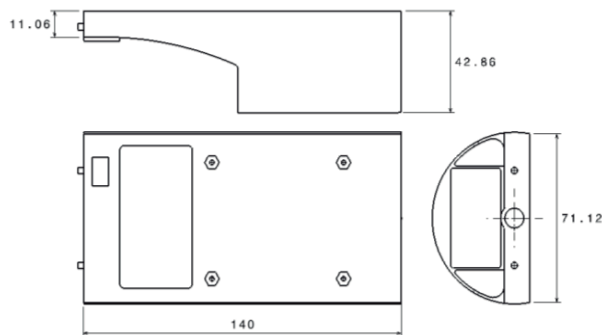


Figura 6. Diseño de base de soporte para componentes electrónicos en la bahía de carga. (Unidades en mm)

La bahía de carga está formada por una sección de fuselaje, un tubo acoplador, dos pares de mamparos, una varilla roscada, tuercas y arandelas, como se muestra en la Figura 7.

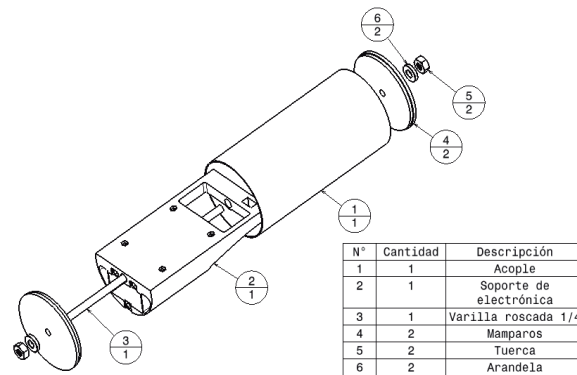


Figura 7. Elementos que conforman la bahía de carga del cohete USB - Rocket I.

El tubo de fuselaje se construyó a partir de un tubo comercial (Apogee model 10204) reforzado con fibra de vidrio y resina epóxica para conseguir el espesor que garantice una resistencia estructural adecuada.

Se realizó un proceso de acabado para obtener una superficie lisa en el tubo construido, y así tener baja influencia de la rugosidad de la superficie sobre la aerodinámica del cohete durante el vuelo.

Pruebas de funcionamiento del prototipo

Para comprobar las mediciones obtenidas por el sistema, se realizaron dos pruebas: la primera en una condición de movimiento horizontal en automóvil, y la segunda durante un vuelo comercial Medellín-Bogotá.

Prueba en movimiento horizontal

En primer lugar, se presenta en la Figura 8 la aceleración medida por el sistema en la dirección del movimiento. Se observa una variación en los valores entre $-1g$ y $+1g$.

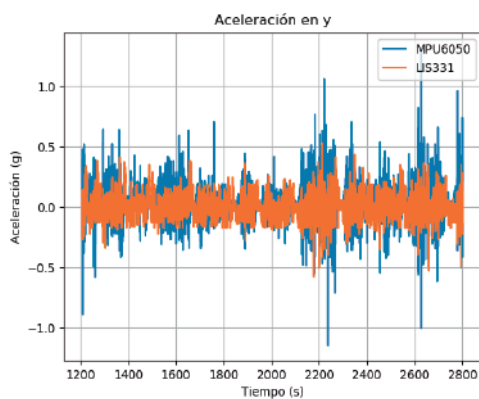


Figura 8. Aceleración horizontal en la dirección del movimiento para la prueba en tierra.

En la Figura 9 se muestran las mediciones de velocidad angular tomadas por el giroscopio durante el desarrollo de la prueba. Como la condición de prueba no presentó cambios repentinos, la mayoría de los valores registrados son cercanos a cero.

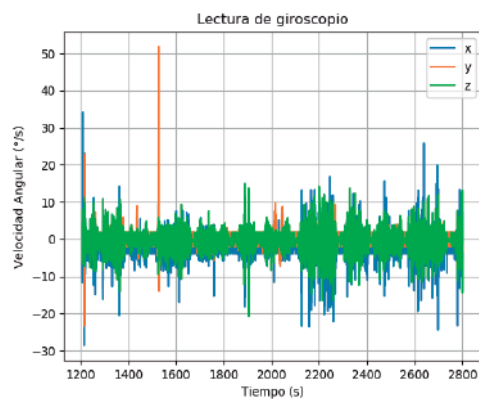


Figura 9. Mediciones de velocidad angular registradas por el giroscopio.

Se muestra en la Figura 10 las mediciones de altura registradas por el barómetro y el GPS. Se evidencia que, a pesar de que existe una diferencia entre ambas mediciones, mantienen la misma forma y comportamiento.

Se observa en la Figura 10 una diferencia de aproximadamente 20 metros en las mediciones entre el barómetro y el GPS. La prueba tuvo una duración de más de 25 minutos, durante los cuales la presión atmosférica presentó cambios, sin embargo, no es posible actualizar durante la prueba el QNH configurado al inicio de la prueba.

Por esto, dadas las variaciones de la presión atmosférica entre dos puntos de medición, se presentarán diferencias respecto al valor real de la altitud.

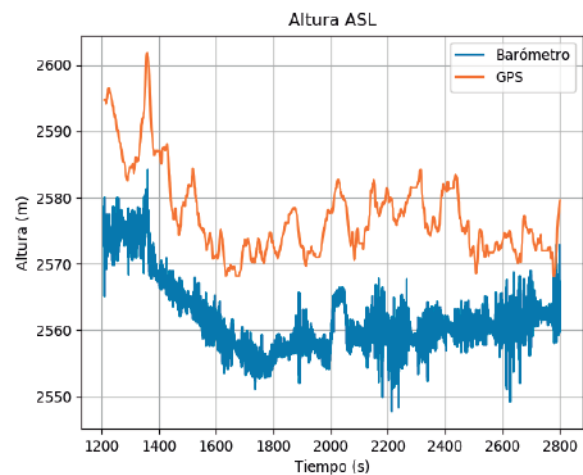


Figura 10. Mediciones de altura respecto al nivel del mar, registradas por el barómetro y el GPS.

El módulo GPS también permite determinar la velocidad de desplazamiento del vehículo medida respecto al suelo y la orientación del movimiento respecto al norte magnético, como se muestra en la Figura 11.

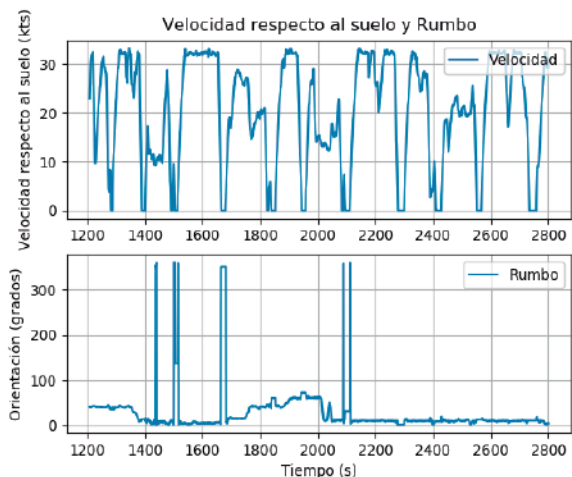


Figura 11. Velocidad respecto al suelo y rumbo del vehículo respecto al norte magnético.

En la Figura 12 se presenta el recorrido en coordenadas geográficas registradas por el GPS. En el código programado para el post-procesamiento de los datos de medición, se tiene una sección programada que recopila las mediciones de altitud, latitud y longitud registradas por el GPS del equipo, y genera un archivo en formato “kml” para su lectura en Google Earth [18]. Esto permite construir la imagen del recorrido de manera automática, importando el archivo generado por la programación.



Figura 12. Recorrido de la prueba. (Imagen generada en Google Earth)

Medición de datos en vuelo comercial

Durante la prueba del sistema realizada en un vuelo comercial, se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Figura 13 se muestra la aceleración registrada por el sistema en la dirección del movimiento. Se observa que los valores varían entre -0.5 g y $+0.5$ g.

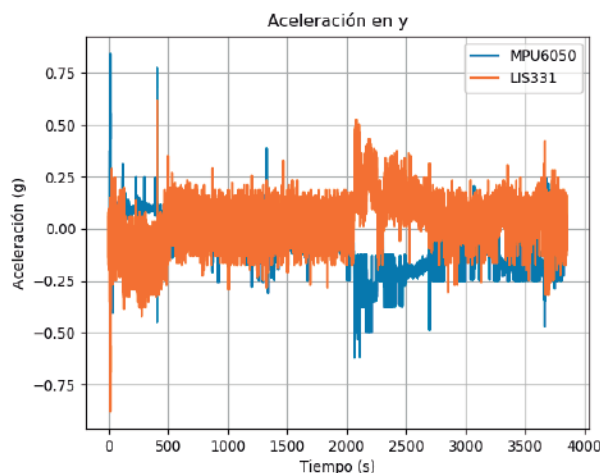


Figura 13. Aceleración en la dirección del movimiento durante la prueba en vuelo.

Se compararon las mediciones en la altura, obtenidas por el módulo GPS y por el barómetro del equipo en la Figura 14. Se observa que el GPS registró la altura real de la aeronave, mostrando una altura de crucero de aproximadamente 6900 m; por otro lado, como el equipo se llevó en la cabina presurizada, el barómetro registró la altura con la presión de la cabina, mostrando el ciclo de presurización de la aeronave.

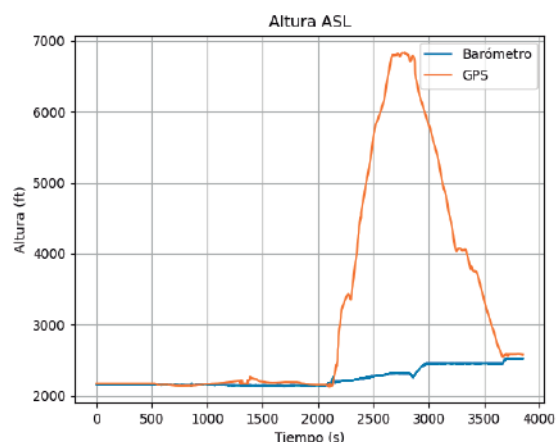


Figura 14. Mediciones de altitud del vuelo, registradas por el barómetro y el GPS.

En la Figura 15 se muestra con mayor detalle las mediciones de altura registradas durante el vuelo de la aeronave. Se observa que, durante el ascenso, se reduce ligeramente la presión al interior de la cabina, lo cual es indicado por el aumento en la altitud registrado por el barómetro. Al iniciar el descenso, la presión en la cabina presenta un ajuste de presión que

se mantiene prácticamente constante hasta el aterrizaje, cuando se regula a la presión de la ciudad de destino.

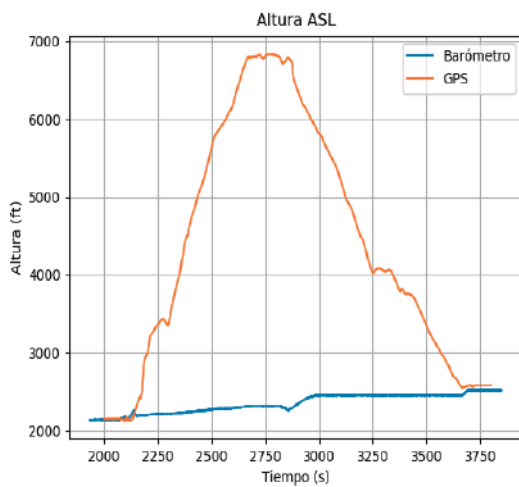


Figura 15. Detalle de la variación de la altitud durante el vuelo en aeronave comercial.

En la Figura 16 se muestra la velocidad respecto al suelo y el rumbo de la aeronave respecto al norte magnético. Se registró una velocidad máxima de 420 nudos (777 km/h).

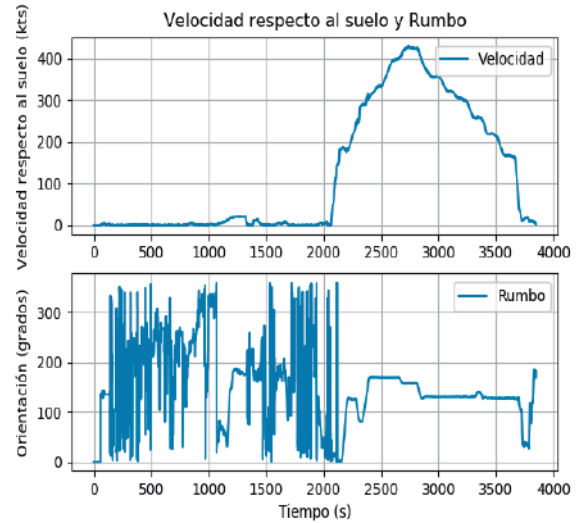


Figura 16. Velocidad respecto al suelo y rumbo de la aeronave, registradas por el GPS.

Con los datos de las coordenadas y la altitud registradas por el GPS, se generó un archivo *.kml* para mostrar el recorrido de la aeronave en Google Earth, como se presenta en la Figura 17 (tridimensional) y la Figura 18 (en dos dimensiones).

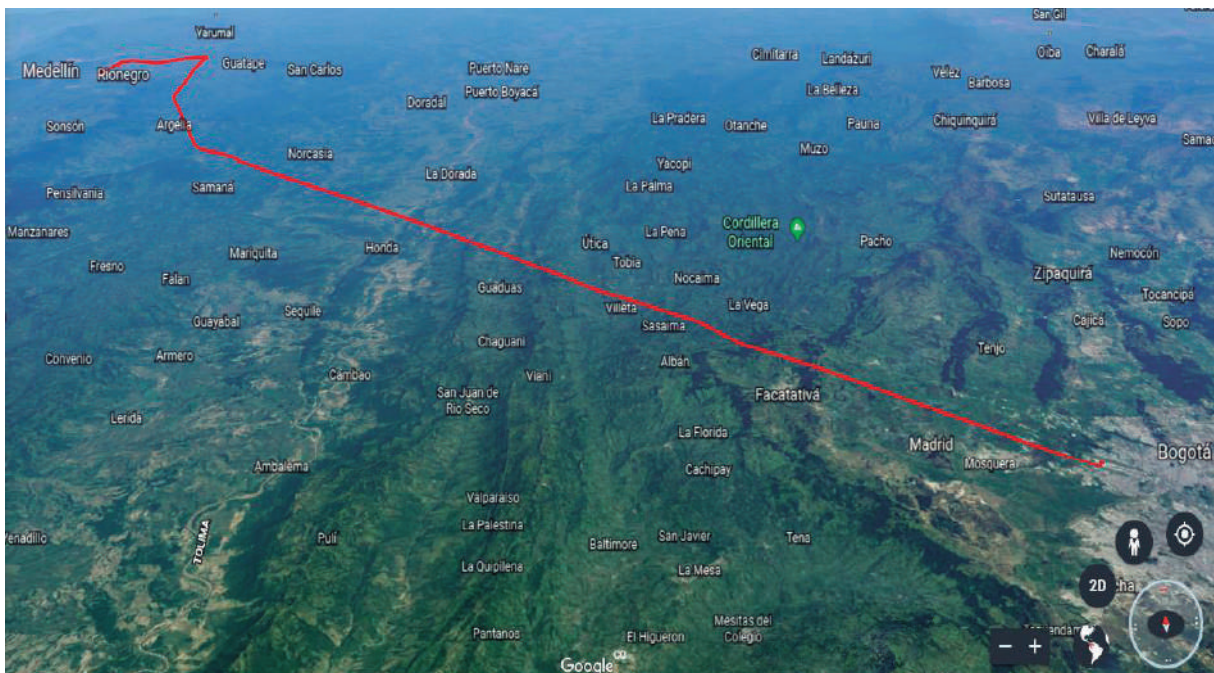


Figura 17. Vista tridimensional del recorrido de la aeronave durante el vuelo. (Imagen adaptada en Google Earth a partir de las mediciones del GPS)

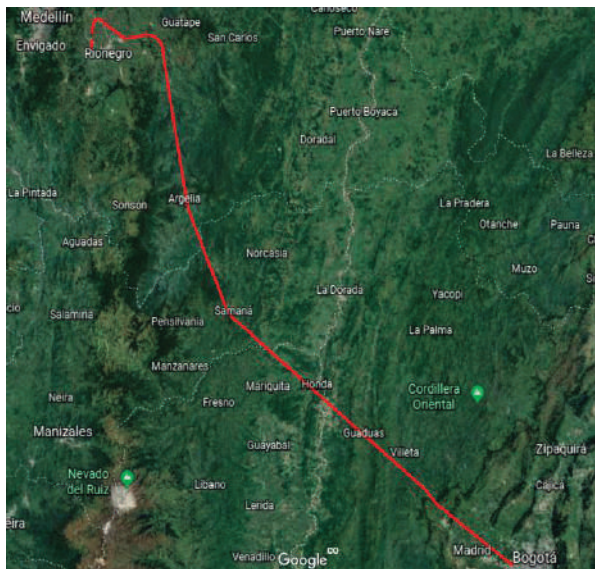


Figura 18. Segmento del recorrido de la aeronave, registrado por el GPS. (Imagen adaptada en Google Earth)

Conclusiones

Se diseñó y construyó un dispositivo de adquisición de datos de vuelo adaptado a las condiciones estructurales del cohete experimental USB - Rocket I, construido en la Universidad de San Buenaventura, Bogotá.

Las condiciones resultantes de un vuelo normal del cohete, propulsado con un motor sólido tipo J se determinaron mediante la simulación del modelo en RockSim®. Se encontró que el cohete presenta una aceleración máxima de aproximadamente 18.24g, alcanza un número de Mach máximo de 0.893 y una altura en el apogeo de 1965 m.

Se integraron diferentes elementos de medición para construir un sistema electrónico capaz de obtener y almacenar variables como altitud, velocidad, aceleración, presión atmosférica, temperatura y posición geográfica durante un vuelo del cohete USB - Rocket I.

Se realizaron diferentes pruebas de medición al sistema, incluyendo una en desplazamiento horizontal en vehículo terrestre, y otra en un vuelo comercial. Se observa la sensibilidad del barómetro, demostrada su capacidad de detectar pequeños cambios en la presión atmosférica, como las variaciones en la presurización de una aeronave comercial. Se demostró el funcionamiento de los acelerómetros del sistema, y se

comprobó la fiabilidad del GPS para realizar mediciones de posición geográfica, velocidad y rumbo durante su operación.

Como trabajo a futuro se espera realizar pruebas del sistema en alguna plataforma capaz de simular el vuelo vertical de un vehículo tipo cohete, para posteriormente ser incluido en un vehículo tipo cohete que permita verificar su funcionamiento de manera efectiva. Además, se proyecta incluir elementos de transmisión que permitan obtener los datos de medición en tiempo real en una estación en tierra, durante el vuelo del cohete. Finalmente, se considerará la redundancia de los equipos, para tener siempre grabación de los datos, aunque alguno de los sensores presente fallos.

Referencias

- [1] J. A. Urrego Peña, «Investigaciones en cohería experimental. Misión Séneca, Lanzamiento del cohete Ainkaa I,» Bogotá, 2009.
- [2] L. F. Ibáñez Pachón, M. G. Rincón Moreno y D. E. Rolón Buenhaber, «Diseño y construcción de una misión de cohería experimental con propelente tipo sólido para alcances estratosféricos,» Bogotá, 2016.
- [3] R. A. Jiménez Manzanera, «Sistema de telemetría en tiempo real para cohete balístico amateur,» Bogotá, 2009.
- [4] N. E. Velásquez Saavedra, «Diseño e implementación de centro de control e ignición de cohetes experimentales sobre un sistema embebido,» Bogotá, 2013.
- [5] A. Gülhan, «Main Achievements of the Rocket Technology Flight Experiment ROTEX-T,» de *21st AIAA International Space Planes and Hypersonic Technologies Conference*, Xiamen, China, 2017.
- [6] Waterloo Rocketry, «Unexploded Ordnance Hybrid Rocket,» Ontario, 2018.
- [7] T. Van Milligan, «RockSim v9,» Apogee Components, 2019.
- [8] H. J. Acosta León, «Análisis comparativo de resultados computacionales y experimentales del vuelo del cohete USB - Rocket I bajo normativa

Trípoli I y II,» de *Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico*, Bogotá, 2018.

- [9] H. J. Acosta León y J. A. Urrego Peña, «Diseño de una plataforma tipo cohete para la obtención de la certificación Trípoli de alta potencia nivel II,» Bogotá, 2017.
- [10] Bosch, «BMP180 Digital Pressure Sensor,» 2015.
- [11] Quectel, «Quectel L86,» Shanghai, 2014.
- [12] Raspberry Pi, «Raspberry Pi Model 3 B+,» s.f. [En línea]. Available: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>. [Último acceso: 2019 Mayo 2019].
- [13] Adafruit Industries, «Adafruit-Raspberry-Pi-Python-Code,» 2016. [En línea]. Available: <https://github.com/adafruit/Adafruit-Raspberry-Pi-Python-Code>.
- [14] RaspberryPi.com, «Measuring Rotation and acceleration with the Raspberry Pi,» s.f. [En línea]. Available: <https://tutorials-raspberrypi.com/measuring-rotation-and-acceleration-raspberry-pi/>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [15] J. Fox, «ImpactForceMonitor,» 2018. [En línea]. Available: <https://github.com/jenfoxbot/ImpactForceMonitor>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [16] «KiCad EDA,» 2019.
- [17] A. Augustin, «websockets,» 2019. [En línea]. Available: <https://github.com/augustin/websockets>. [Último acceso: 2019].
- [18] Google LLC, «Google Earth,» Google LLC, 2019.

Correo electrónico autores

G. Reyes: gereyes@academia.usbbog.edu.co

L. Hernández:
lahernandezc@academia.usbbog.edu.co

A. Urrego: jurrego@usbbog.edu.co

L. Mónico: lmonico@usbbog.edu.co

2do Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico
Octubre 25, 2019

EXPERIMENTAL STUDY OF 2024 T3 AL ALLOY WELDING USING TRADITIONAL TIG HF PROCESS

Ramírez Vargas, David; Universidad Nacional de Colombia; Bogotá D.C.

Abstract

The weldability of aluminum alloy 2024-T3 using gas tungsten arc welding with high frequency (GTAW-HF) is presented in this article. The objective of this research is to take a first approximation to the weldability of a heat treatable aluminum alloy, using commercial welding rod Harris ER4043 and argon as blending gas. The weld quality was evaluated using metallographic inspection with optical microscopy and by means of non-destructive radiographic testing. Furthermore, the softening of the weldment was inspected using microhardness testing. The strength of the weld was evaluated by means of cross-tension, guided root, and guided face bend tests. It is concluded that an increase in the welding heat input generates a decay in such mechanical properties and it is appreciable in a non-equiaxed grain growth from parent metal to fusion zone.

Keywords — Alloy 2024-T3, guided bend test, GTAW-HF, metallographic inspection, microhardness, tension test, welding rod ER4043.

I. Introduction

The welding of aluminum and its alloys has always represented a great challenge for designers, engineers and technologists. Plenty of difficulties are associated with this kind of joint process, mainly related to the presence of an inherent tenacious oxide layer, high thermal conductivity, high coefficient of thermal expansion and high solubility of hydrogen, and other gases, in molten state [1]. Further problems can rise when attention is focused on heat-treatable alloys, since heat, provided by the welding process, is responsible for the decay of mechanical properties, due to phase transformations and softening induced in alloy during welding process [1], [2].

Aluminum was introduced as a welded structural material with the introduction of inert gas welding in 1940. This welding process used an inert gas to protect the molten aluminum from atmospheric contamination

and oxidation during welding. This concept was modified later by Hobbart in 1920, who used helium as a shielding gas and Devers, who used argon gas for shielding. The process parameters which affect TIG welding are welding current, welding voltage, blending gases, and welding speed [3].

Aluminum alloy 2024-T3 is the most popular material in the aircraft industry due to its reduced weight, moderate cost, stiffness, strength and ductility and suitable mechanical properties. It is primarily used in fatigue critical structures such as fuselage skin, frames and bulkheads which are under predominantly tension loading service conditions. [4]

The 2024-T3 alloy with high damage tolerance has a combination of high fracture toughness, low cycle fatigue strength and resistance to fatigue crack growth and corrosion, making it suitable for fuselage structures, where good static strength, fatigue and fracture resistance are required [4]

In this paper, mechanical properties and microstructural changes during GTAW for the commercial aluminum alloy AA2024-T3, which has been welded using Harris ER4043 aluminum TIG welding rod, are studied. The weld was characterized using optical metallography to reveal the grain structure. The mechanical properties were evaluated by means of tensile specimens and guided root and face bending tests.

II. Experimental study

Heat treatable aluminum alloy (Al-Cu-Mg) 2024 sheets of 7 inch and 10 inch in the T3 temper condition (solution heat-treated, cold worked and naturally aged) of 1,6 mm thickness were used. The chemical composition of AA 2024-T3 are listed in Table 1. Its mechanical properties are listed in Table 2.

Table 1 - Chemical composition of aluminum alloy 2024-T3

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
Balance	0,5	0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	0,1

The alloy was welded under GTAW process, with Harris ER4043 whose chemical composition is given in table 3, using the range of conditions given in Table 4. Argon was also used as blending gas.

Table 2 - Mechanical properties of aluminum alloy 2024-T3

Alloy and temper	UTS		Tensile yield strength		Hardness HB
	MPa	ksi	MPa	ksi	
2024-T3	485	70	345	50	120
Alclad 2024-T3	450	65	310	45	120

Table 3 - Chemical composition of welding rod Harris ER4043

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
Balance	4,5 - 6	0,8	0,3	0,05	0,05	0,1

Table 4 - Main welding parameters of experiment.

#	Welding speed (cm/s)	Welding current (A)	Welding Voltage (V)	Heat Input (J/cm)	Heat Input (kJ/in)	Gas flow (L/min)
1	0,5	50	12,5	1250	3,175	8

The sheet thickness was 1.6 mm and a simple butt geometry (See fig. 1) was used for the experiment, according to AWS D1.2 [5]. The welding heat input was calculated according to the formula presented in equation 1.

$$Q = \frac{V \cdot I}{\vartheta} \quad (1)$$

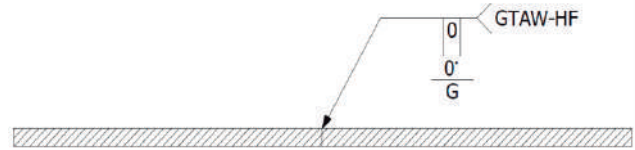


Figure 1 - Butt joint designed for the study

For further information the welding procedure specification (WPS) is presented (see annex), where the essentials and non-essentials parameters for the experiment can be found.

Once the weldment was obtained, the specimens for the respective tests could be picked and tested. There were five specimens whose dimensions are given in fig 2. As it can be observed, two tensile tests were carried out, single guided root bend test, single guided face bend test, and on weld cross section, microhardness measurement and metallographic inspection. The required dimensions for tensile specimen are presented in fig. 3 and the final aspect of both tests specimens, tensile and bending, is available in fig 4.

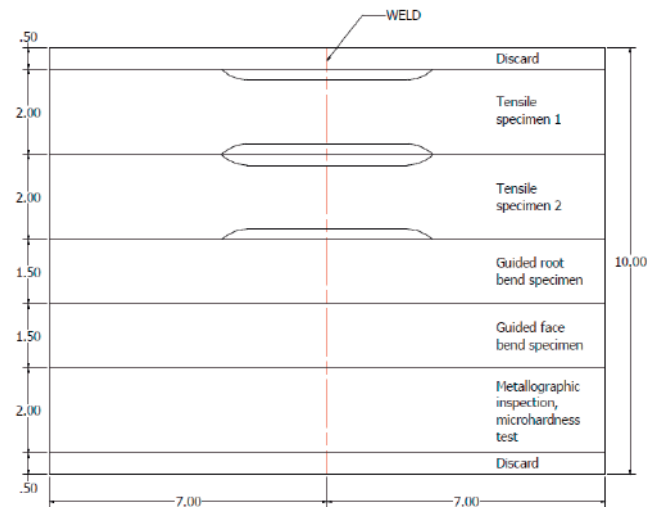


Figure 2 – Dimensions of test specimens.

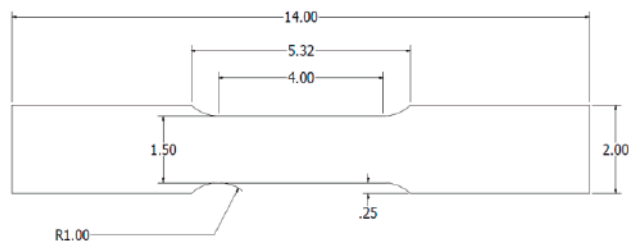


Figure 3 - Tensile specimen dimensions.

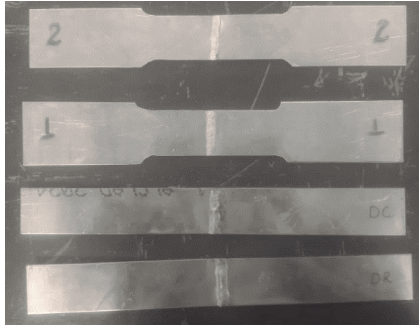


Figure 4 - Specimens to be tested.

The mechanical properties of the joints were evaluated by means of tensile tests executed on a universal testing machine SHIMADZU with a load cell of 50 kN. The tests were carried out under speed control (0.5 mm/min) and a pre-load equal to 1 kN. In the case of guided bend tests, it was carried out on the same machine, with a 3 contact point arrangement and speed control of 20 mm/min.

The influence of process parameters on the material structure was evaluated by measuring the microhardness distribution in the welded section for the tested condition. Microhardness measurements were performed using a LECO M400-62 hardness testing machine at a load of 200 g and a dwell period of 10s to characterize the whole hardness.

Prior to both tests, microhardness and metallographic inspections, sample was polished by using different degrees of emery papers such as 600, 800, 1000, 1500, 2500 and 3000 degrees and subsequently finishing with diamond suspension polishing. It was etched with Kellers solution and microstructure was observed using optical microscopy.

III. Results

Visual and radiographic inspection

The whole weldment was inspected under visual inspection looking for presence of welding defects including underfill, reinforcement, porosity and cracks. Only some insulated porosity was located on the weldment root. However, a radiographic inspection was also carried out with a 125 kV power and 6s of exposition and internal porosity was found in zones where it is not possible to notice from the outside. See Fig. 5.



Figure 5 - Radiographic testing on weld section.

Tensile test

Figure 6 shows the mechanical behavior of the two specimens under a tensile stress. The tensile strength is reported as a stress-strain curve. Under these conditions, with cross-section dimensions of 1,6 mm and 38,3 mm, the UTS for the blue curve specimen was 152,73 MPa and 182,64 MPa for the orange curve. If these values are compared to the nominal UTS, there is a noticeable decay of mechanical properties of material that could be related to an uncontrolled heat input during the welding procedure.

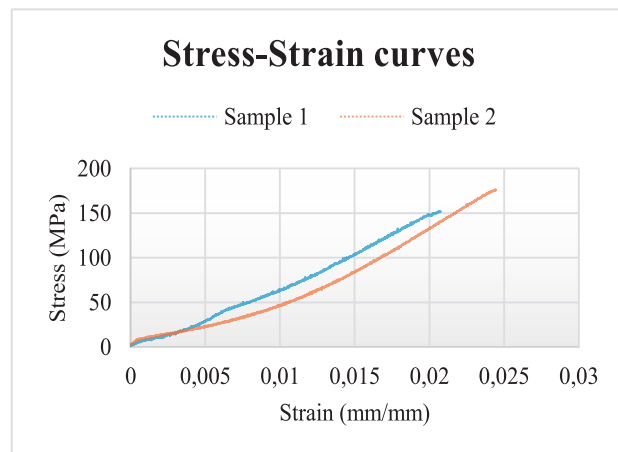


Figure 6 – Stress-Strain curve for tensile strength measurement.

It is important to highlight that the crack nucleation was in the upper layer between base material and rod material, what indicates an improper welding fusion.

Bend test

Due to the internal porosity detected in previous tests and fusion problems evidenced, the bend test results are not capable of giving any information regarding the soundness and ductility of the weldment.

Macrostructural and microstructural examinations

It is well known that, in the case of TIG welding, due to the fusion of material and high temperatures experienced by adjacent material a remarked HAZ appears. (See fig. 7)

Figure 8 shows different zones from cross section macrostructure presented in figure 7. Fig 8(a) shows a planar growth of the central axial grains from base material to welding fusion zone (semi-coherent). A bigger dendritic size in fusion zone compared to parent material is shown in figure 7(b) (incoherent). In fig

7(c), on either side of the central axial grains, columnar-dendritic grains were found, which solidified on the parent material (also called epitaxial nucleation) and grew throughout the central axial region. As we remarked before in the tensile behavior, the crack nucleation was in the upper surface layer, in figure 7(d) is shown that there is not a fusion between welding rod and parent material, mainly by the presence of an aluminum layer, typical in all the Alclad materials. So it is important to highlight that this layer carries on a decay in mechanical properties [6] and it should be avoided in the majority of cases.

The dark precipitates observed were supposed to be the intermetallic compounds, varying in size, shape and chemical composition, formed during the solution heat treatment and natural ageing (T3), some of which are CuMgAl_2 , CuAl_2 , $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$, $\text{Al}_{10}\text{CuMn}$ and Al_3CuFeMn [4].

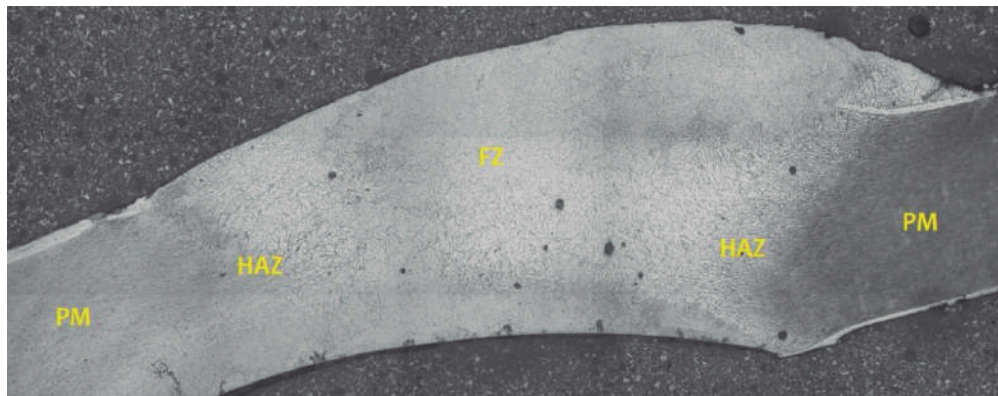


Figure 7 - Macrostructure of weld cross section, showing the zones of parent metal (PM), heat affected zone (HAZ) and fusion zone (FZ).

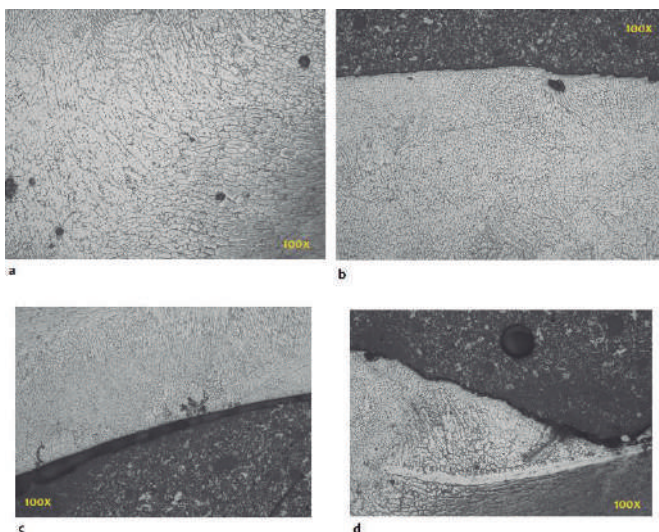


Figure 8 - Grain structure of cross section weldment. (a) Planar growth. (b) Dendritic aspect in fusion zone. (c) Columnar-dendritic grains (epitaxial nucleation). (d) Interface weld-Aluminum Layer of Alclad material.

Microhardness

In order to corroborate the mechanical properties results discussed before, the microhardness profile measurement was carried out (See fig. 9) and the results are shown in figure 10. Results show that in both measurements, upper and lower profile, hardness value in welding zone is similar to the parent metal; however, there is an increment in the heat affected

zone (HAZ) hardness, possibly related to the dendritic growth.

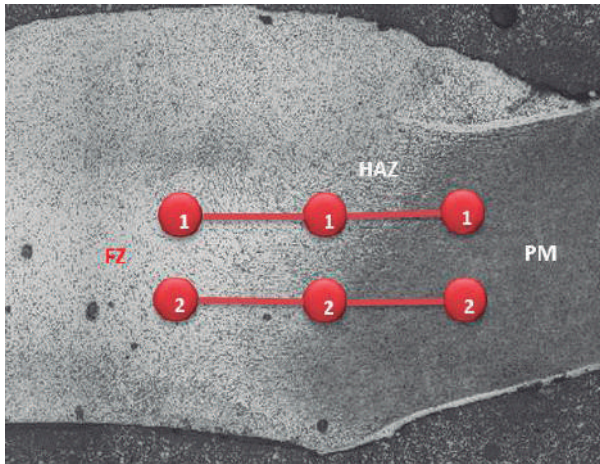


Figure 9 - Location of measured points for microhardness test.

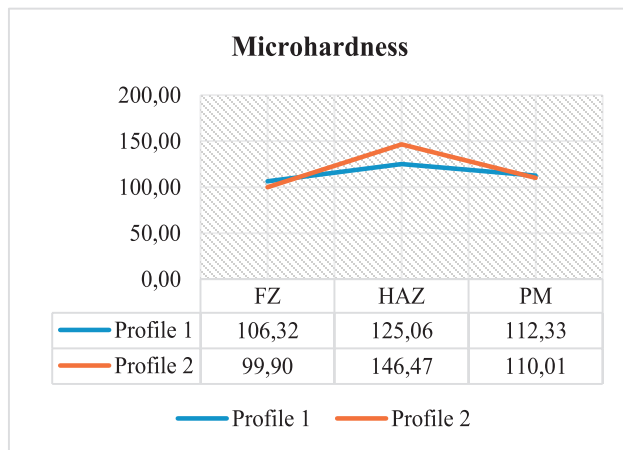


Figure 10 - Graph of microhardness measures of TIG joint.

IV. Discussion

According to the results obtained, especially based on tensile strength and microstructure transformation, it is noticeable that there is a decay of mechanical properties during the welding procedure. It would be related to an uncontrolled welding heat input, resulting in an epitaxial dendritic growth, which generates a severe size of grains. A non-uniform distribution of welding interfaces is also evidenced, possibly due to an inadequate technique from the welder. Another detected problem comes from the aluminum layer, added during Alclad processing,

which in welding terms represents a serious fusion problem because it is a non-controllable variable. In that way, it is recommended to perform welding operations without this treatment.

V. Conclusion and recommendations

The experiment takes a great first step towards future investigation whose results indicate potential problems in a traditional welding procedure of heat treatable aluminum alloy.

It is imperative to pay special attention to welding parameters that influence the welding heat input, because it would result in an uncontrolled grain growth process, affecting fundamental mechanical properties.

A certified welder is necessary to perform this kind of investigations.

Alclad materials represent a problem in welding operations, so they shall be avoided.

VI. References

- [1] A. Squillace, A. De Fenzo, G. Giorleo, and F. Bellucci, "A comparison between FSW and TIG welding techniques: Modifications of microstructure and pitting corrosion resistance in AA 2024-T3 butt joints," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 152, no. 1, pp. 97–105, 2004.
- [2] A. F. Norman, V. Drazhner, and P. B. Prangnell, "Effect of welding parameters on the solidification microstructure of autogenous TIG welds in an Al-Cu-Mg-Mn alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 259, no. 1, pp. 53–64, 1999.
- [3] S. Mohapatra and H. Sarangi, "Comparison between tungsten inert gas and friction stir welding in commercial aluminium alloy plates," *J. Chem. Pharm. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 1485–1490, 2016.
- [4] J. Ahn, E. He, L. Chen, J. Dear, and C. Davies, "The effect of Ar and He shielding gas on fibre laser weld shape and microstructure in AA 2024-T3," *J. Manuf. Process.*, vol. 29, pp. 62–73, 2017.
- [5] American Welding Society, *AWS*

- D1.2/D1.2M: 2014 - Structural Welding Code-Aluminum*. 2014.
- [6] J. Vercauteren, K. Faes, and W. De Waele, "Metallographic evaluation of the weldability of high strength aluminium alloys using friction spot welding," *Int. J. Sustain. Constr. Des.*, vol. 8, no. 1, p. 8, 2017.
- [7] H. M. Anil and S. P. Shanmugan, "Experimental Investigation of Mechanical Properties And Morphological Studies on Friction Stir Welded Aluminum 2024 Alloy," *Mater. today Proc.*, vol. 5, pp. 700–708, 2018.
- [8] P. Karthikeyan, D. Thiagarajan, and K. Mahadevan, "Study of relation between welding and hardening parameters of friction stir welded Aluminium 2024 alloy," *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 505–512, 2014.
- [9] M. Morakabiyani Esfahani, A. Farzadi, and S. R. Alavi Zaree, "Effect of Welding Speed on Gas Metal Arc Weld Pool in Commercially Pure Aluminum: Theoretically and Experimentally," *Russ. J. Non-Ferrous Met.*, vol. 59, no. 1, pp. 82–92, 2018.
- [10] ASM International, "Atlas of Stress-strain Curves." ASM International, p. 822, 2002.
- [11] A. Gerlich, P. Su, M. Yamamoto, and T. H. North, "Effect of welding parameters on the strain rate and microstructure of friction stir spot welded 2024 aluminum alloy," *J. Mater. Sci.*, vol. 42, no. 14, pp. 5589–5601, 2007.
- [12] Z. Huda, N. I. Taib, and T. Zaharinie, "Characterization of 2024-T3: An aerospace aluminum alloy," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 113, no. 2–3, pp. 515–517, 2009.
- [13] ASM International, "ASM Handbook, Volume 6, Welding, Brazing and Soldering," *Metals Handbook*. ASM International, p. 2874, 1993.
- [14] ASM International, "ASM Handbook, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials," *Metals Handbook*. ASM International, p. 3471, 1990.
- [15] ASM International, "ASM Handbook, Volume 9, Metallography and Microstructure," *Metals Handbook*. ASM International, p. 2734, 2004.

Email Addresses

daaramirezva@unal.edu.co

2do Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico
Octubre 25, 2019

Appendix I: Welding procedure specification (WPS).

COMPANY NAME: Universidad Nacional de Colombia BY David A. Ramírez

WPS No. 1 DATE 15 July 2019

WPS REV. No. _____ REV. DATE _____

SUPPORTING PQR Nos. N/A

WELDING PROCESS(ES) GTAW-HF TYPE Manual

JOINTS

JOINT TYPE Butt

BACKING NO _____

BACKING MATERIAL (TYPE) N/A

GROOVE ANGLE 0

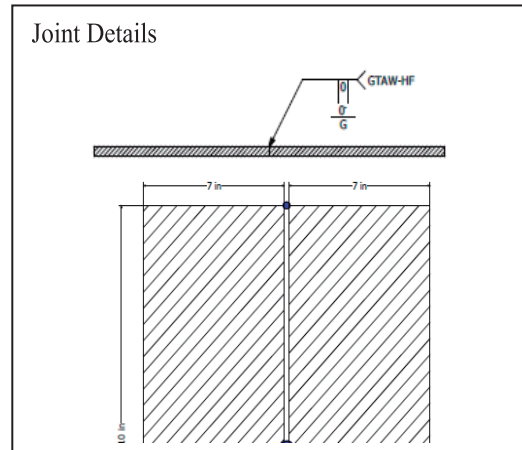
ROOT OPENING RADIUS (U or J) _____

ROOT FACE 1.6

BACKGOUGING (YES or NO) NO

BACKGOUGING METHOD N/A

Joint Details



BASE METAL(S)

SPECIFICATION TYPE AND GRADE ALUMINUM ALLOY 2024-T3

TO SPECIFICATION TYPE AND GRADE ALUMINUM ALLOY 2024-T3

THICKNESS RANGE

OF BASE METAL GROOVE 1.6 FILLET 3.2

DEPOSITED METAL GROOVE _____ FILLET _____

PIPE DIA. RANGE GROOVE _____ FILLET _____

OTHER _____

FILLER METALS

FILLER METAL F-No. ER4043 OTHER _____

AWS CLASSIFICATION WELDING ROD _____

AWS SPECIFICATION AWS 5.10

WELD METAL ANALYSIS A-No. _____ OTHER _____

FILLER METAL SIZE 3/32 INCH

ELECTRODE-FLUX (CLASS) _____

FLUX TRADE NAME _____

CONSUMABLE INSERT _____

OTHER _____

Sample WPS Form (continued)

WPS NUMBER (PAGE 2) _____

POSITIONS

POSITION(S) OF GROOVE 1F _____ WELD PROGRESSION STRAIGHT _____

POSITION(S) OF FILLET N/A _____

PREHEAT

PREHEAT TEMP. (MINIMUM) _____ INTERPASS TEMP. (MAXIMUM) _____

PREHEAT MAINTENANCE _____

CONTINUOUS OR SPECIAL HEATING OR MAINTENANCE _____

POSTWELD HEAT TREATMENT

TEMPERATURE _____ TIME _____

SHIELDING

	SHIELDING	BACKING	TRAILING
GAS(ES)	ARGON	N/A	N/A
COMPOSITION	ARGON	N/A	N/A
FLOW RATE	8 L/MIN		

FLUX Yes No FLUX TYPE / TRADE NAME _____

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CURRENT TYPE AND POLARITY AC-HF _____ PULSING (YES OR NO) YES _____

CURRENT (RANGE) 50-100 _____ VOLTAGE (RANGE) 10-15 _____

WIRE FEED SPEED (RANGE) 0.5 – 1 CM/S _____

TUNGSTEN ELECTRODE SIZE AND TYPE ER4043 – 3/32 _____

PULSING PARAMETERS _____

OTHER _____

OTHER VARIABLES

CUP OR NOZZLE SIZE 1/4 _____ COLLET BODY OR GAS LENS

CLEANING METHOD AC _____

NUMBER OF ELECTRODES _____

OTHER _____

WELDING PARAMETERS

LAYERS	PROCESS	FILLER METAL		ELECTRICAL			TRAVEL SPEED RANGE
		Class	Diameter	Type & Polarity	Current Range	Voltage Range	
1	GTAW	ER4043	3/32	AC-HF	50-100	10-15	0.5-1 CM/S

FABRICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE AERONAVES DE FUMIGACIÓN DE ALTA PRECISIÓN (AFAP), Y ARTICULACIÓN DE TECNOLOGÍAS 4.0 COMO MODELO DINAMIZADOR DE LA INDUSTRIA AEROESPACIAL COLOMBIANA

Toshiro Núñez Torres, Colombia Aeroespacial, Medellín - Antioquia

Sebastián Morales Gómez, Colombia Aeroespacial, Bello – Antioquia

Sebastián Arteaga Medina, Colombia Aeroespacial, Palmira – Valle del Cauca

Resumen

Este documento, presenta el caso de éxito del desarrollo de una plataforma de adquisición de datos en vuelo, implementada en el proceso de certificación de una aeronave de fumigación de alta precisión (AFAP) en Colombia bajo la norma CS-VLA, además de otras prestaciones en desarrollo, una vez cumplida la fase de aeronavegabilidad, que potencian el desarrollo de la industria de la aviación y la agricultura de precisión, en el marco de la Cuarta Revolución Industrial (4.0), aplicada al caso colombiano.

Palabras clave

Aeronavegabilidad, Agricultura de Precisión, Cuarta Revolución Industrial (4.0), CS-VLA, Plataforma tecnológica.

Abstract

This paper presents the successful case of the development of an in-flight data acquisition platform, implemented in the process of certification of a high precision fumigation aircraft (HPFA) in Colombia under the CS-VLA standard, in addition to other benefits under development once the airworthiness phase, which enhance the development of the aviation industry and the precision agriculture, within the framework of the Fourth Industrial Revolution (4.0), applied to the colombian case.

Keywords

Airworthiness, CS-VLA, Fourth Industrial Revolution (4.0), In-Flight Data Acquisition Platform, Precision Agriculture.

Introducción

El sector agrícola en Colombia es tan diverso y variado como su geografía le permite ser, al contar con amplias zonas de sabana, llanuras pie de montes, y variedad de pisos térmicos debido a la trifurcación de la cordillera de los Andes, aparecen distintos actores de la economía nacional desde el sector del agro. Multinacionales, grandes, medianos y pequeños productores, desde hace varias décadas utilizan aeronaves de ala fija y rotatoria para llevar a cabo actividades de aspersión y fumigación.

Alrededor de 20 años atrás, en el país se dio el florecimiento de un nuevo tipo de fumigación aérea, mediante la implementación de aeronaves livianas (aeronaves con Peso Bruto Máximo Operacional – PBMO – igual o menor a 750 Kg) por parte de pequeños y medianos agricultores, que vieron reflejado en el bajo costo de aplicación de productos agrícolas y la alta versatilidad en terrenos de muy difícil accesibilidad para aeronaves convencionales, la oportunidad de incrementar la productividad y maximizar los beneficios a través del uso de aeronaves livianas adaptadas para la fumigación.

El éxito demostrado en la operación sostenida con pequeños y medianos agricultores del centro y oriente del país, incidió en que los grandes ingenios azucareros ubicados en el suroccidente de Colombia, decidieran implementar este tipo de aeronaves en las labores de aspersión diaria, obteniendo grandes resultados en función de la eficiencia y eficacia de los mismos.

El caso anterior, incidió en que la industria aeronáutica en Colombia diera un giro importante, al observar la aparición de un nuevo tipo de aeronave en el escenario de aviación comercial especial, al no ser solamente utilizadas aeronaves de fumigación convencionales, pues durante el transcurrir de los

años, se fue evidenciando la mayor precisión en la aplicación de los agroquímicos en espacios más reducidos, así como la eliminación de reclamaciones legales por parte de las comunidades cercanas o adyacentes a las áreas de cultivos.

Dado que la operación de aeronaves ultralivianas con fines comerciales se masificó en Colombia, y con el fin de garantizar la seguridad aérea, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), decidió que dichas aeronaves deben acogerse a la norma de certificación europea Certification Specifications for Very Light Aeroplanes (CS-VLA) [1].

Al tratarse la norma CS-VLA de una norma de diseño, la autoridad nacional implementó dentro del RAC (Reglamentos Aeronáuticos Colombianos), los correspondientes a Aeronaves de Categoría Liviana (ALS) RAC 26 [2] y RAC 137: Normas de Aeronavegabilidad y Operaciones en Aviación Agrícola [3], este último enfocado a las organizaciones o particulares tenedores o explotadores.

Lo anterior abrió una ventana para la ingeniería colombiana y una oportunidad de afrontar y solucionar nuevos retos en función del tiempo y el diseño, para establecer las condiciones estructurales y aerodinámicas sobre un diseño con alteraciones y modificaciones mayores con más de 40,000 horas de vuelos certificadas. La opción empleada por parte del equipo de ingeniería en certificación, correspondió a la implementación de un proceso de ingeniería inversa que permitiera verificar el cumplimiento de la aeronave a cada literal de la norma de diseño, que contaba con una gran cantidad de alteraciones mayores y mejoras que incluían componentes diseñados y fabricados en Colombia.

El proceso de certificación, fue enriquecido por un recurso tecnológico desarrollado por el equipo de ingeniería, el Medidor Digital de Inclinaciones MDI® (certificado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC -, identificados con los códigos L4965 y L4964), un dispositivo que permite la adquisición de datos en vuelo de la aeronave, velocidades angulares de la aeronave en cada uno de sus tres ejes y gravedades asociadas. Así mismo, para la adquisición de datos en tierra, tales como: grados de deflexión de la estructura del ala luego de aplicada una carga, o la medida de

deformación de cualquier componente estructural de la aeronave.

En el transcurso del proceso de certificación, las funciones del MDI fueron enriquecidas mediante la adición de más funciones como grabación de datos operacionales, video, voz, valores de fuerza sobre comandos de vuelo y parámetros de desempeño de componentes como el motor y el sistema de aspersión. El enriquecimiento de las características antes descritas, fueron posibles gracias a la articulación e implementación de tecnologías 4.0, como la programación en lenguajes de alto nivel, impresión y prototipado 3D, internet de las cosas (IOT).

A la fecha, la plataforma tecnológica se encuentra en una fase de incorporación de nuevos componentes que le permita adaptarse a procesos operacionales y de mantenimiento de organizaciones operadoras de Aeronaves de Fumigación de Alta Precisión (AFAP), y no solo centrarse en procesos de fabricación y certificación de aeronaves.

Así mismo, gracias a los componentes electrónicos adaptables al ecosistema IOT disponibles en el mercado, se llevan a cabo pruebas de interacción entre la plataforma tecnológica y sistemas de monitoreo y registro de condiciones de cultivo en tierra para aumentar la efectividad y eficiencia en la labor de aspersión de las AFAP.

Por lo anterior, el desarrollo de la plataforma tecnológica MDI, orientada a la operación de Aeronaves de Fumigación de Alta Precisión (AFAP), y las adiciones para monitoreo de suelos y cultivos en el agro, abren la posibilidad de integración para el estudio y mejoramiento de las habilidades y capacidades hasta ahora exploradas, en el campo de la minería de datos (Big Data) y Machine Learning para un modelo dinamizador en la industria aeroespacial en Colombia.

Utilización del MDI dentro del cumplimiento de los estándares de la norma CS-VLA

Durante el desarrollo del proceso de certificación de la aeronave de fumigación liviana, el diseño de la plataforma tecnológica, fue depurándose a lo largo del desarrollo de las pruebas en tierra y ensayos en vuelo.

Para el caso particular de las pruebas en tierra, además de las consideraciones inherentes a los cálculos analíticos y demostrativos, era necesario contar con una herramienta, preferiblemente digital y certificada, que garantizara la correspondencia entre cálculos analíticos de resultados esperados, respecto a los obtenidos experimentalmente durante el desarrollo de las pruebas.

Pruebas en tierra

Con el fin de demostrar y garantizar la integridad estructural de la aeronave de fumigación liviana, se realizaron, durante el proceso de certificación, una serie de ensayos y pruebas para demostrar la resistencia a la deformación plástica a través de la aplicación de cargas límite a cada uno de los componentes estructurales de la aeronave, y la resistencia a la falla a través de la aplicación de cargas últimas.

Dentro de los principales ensayos estructurales realizados se encuentran: la prueba y análisis de resistencia de la estructura del empenaje (ambos estabilizadores), la prueba de caída o Drop Test, la prueba y análisis de resistencia estructural de las superficies de control y sus mecanismos de ajuste, la prueba y análisis de resistencia estructural de sistemas de control y sus mecanismos de accionamiento y la prueba de resistencia estructural del conjunto del ala.

Es necesario precisar que los ensayos estructurales se realizaron tomando en consideración los regímenes de maniobra positiva y negativa dentro de los que se desenvuelve la aeronave según el área descrita en su envolvente de vuelo. Teniendo en cuenta el perfil operacional de esta aeronave en particular,

se toma como referencia un factor de carga límite positivo de maniobrabilidad de 3.8, y un factor de carga límite negativo de maniobrabilidad de -1.5 (Ver numeral 337 de la norma CS-VLA y la Tabla 1 del apéndice A de la misma norma [1]). Para determinar las cargas últimas sobre la estructura se toma como referencia un factor de seguridad de 1.5 (Ver numeral 303 de la norma CS-VLA [1]) que da origen a factor de carga última de 5.7 en maniobra positiva y -2.25 en maniobra negativa.

La estructura de uno de los semiplanos del ala fue suspendida sobre un jigs o soporte de acero empleando los mismos mecanismos de unión o pernos de sujeción del ala a la aeronave, de esta manera se garantizó que la resistencia a tensión y cortante de los mismos también fuese probada.



Fig. 1: Esquema de la estructura de acero de soporte o jigs.

El ala fue sometida a cuatro ensayos en total, un ensayo de carga límite en maniobra positiva, un ensayo de carga límite en maniobra negativa, un ensayo de carga última en maniobra positiva y un ensayo de carga última en maniobra negativa. Las cargas límites y últimas aplicadas sobre la estructura del ala, estaban en función del peso bruto máximo operacional de la aeronave, la magnitud y distribución de la fuerza de sustentación sobre el ala y los factores de carga ya descritos.

Durante los ensayos de carga límite era importante garantizar que luego de aplicadas las cargas, la estructura del ala no presentara deformación plástica permanente, para tal fin, se verificaba que el ala regresara a su posición

original luego de sufrir una deflexión. Dicha verificación se realizó a través del dispositivo tecnológico MDI (Medidor Digital de Inclinaciones) que censaba la posición del ala en grados respecto a la horizontal, en función del brazo o posición de dicho dispositivo a partir de la raíz del ala.



Fig. 2: Ubicación del MDI durante ensayos estructurales del ala.

Otro aspecto importante para el éxito del ensayo radicó en el orden de la ejecución del mismo, y la estrategia del montaje simultáneo y secuencial de las cargas en el ala, esto, con el fin de evitar una fatiga anticipada de la estructura. El ala se encontraba dividida en 8 estaciones, cada una con una carga asignada según lo establecido en los cálculos de distribución de sustentación. Para el montaje, fue dispuesto un total de ocho operadores, cuatro de cada lado del ala, con los debidos elementos de protección personal y seguridad industrial, cada uno de ellos con la responsabilidad de ubicar bolsas de arena de 5, 10 y 20 kilogramos en las dos estaciones que les fueron asignadas, según una secuencia previamente descrita. De este modo, se pudo desarrollar un proceso coordinado para la aplicación de cargas sobre el ala de raíz a punta, sin poner en riesgo los componentes estructurales de la misma antes de lograr el objetivo del ensayo.



Fig. 3: Distribución durante prueba estructural del ala.

Ensayos en vuelo

La campaña de vuelos demostrativos del proceso de certificación de la aeronave de fumigación liviana, fue desde el inicio, el objetivo de desarrollo del MDI. Para esta fase de cumplimiento con los estándares de la norma de certificación, el MDI, fue ubicado al interior de la cabina de la aeronave, sobre la viga principal, coincidente con el eje transversal de la aeronave, a través de conexión alámbrica la pantalla táctil o monitor, fue ubicada en la parte superior del compartimiento del piloto, en donde este tiene acceso a la interacción con el dispositivo.



Fig. 4: Pantalla del MDI en cabina.

La figura 4 muestra en la parte superior del compartimiento del piloto, la ubicación de la pantalla del MDI, en la parte posterior del asiento, se encuentra instalada la caja de sensores. La configuración mostrada en la figura 4, le permite al piloto interactuar de manera directa con el con el conjunto del dispositivo MDI.

Así como en el desarrollo de los ensayos de las pruebas estructurales señalados anteriormente, para el caso de los ensayos en vuelo, un conjunto de éstos fueron ejecutados con el fin de establecer el performance de la aeronave en vuelo en distintas configuraciones de peso y posiciones asociadas del centro de gravedad. Un total de 16 horas se requirieron para la obtención de parámetros en vuelo que permitieran establecer y definir el desempeño de la aeronave de fumigación.



Fig. 5: Cámaras instaladas en la aeronave en ensayos de vuelo e interface de MDI sincronizados.

La figura 5, en la parte superior izquierda muestra la vista de una cámara instalada en el ala izquierda de la aeronave, en la parte superior derecha la vista del tablero e instrumentos de vuelo, en la parte inferior izquierda el entorno de visualización del MDI para interacción con el piloto, y en la parte inferior derecha la gráfica de valores de velocidad angular sobre los ejes vertical y transversal.

El recuadro inferior izquierdo de la figura 5, corresponde a lo observado en la pantalla táctil del MDI por parte del piloto en vuelo, en esta, la parte izquierda muestra los valores de gravedad experimentado en cada uno de los ejes de la aeronave (vectorial) y la magnitud total (escalar), en el centro se encuentran los botones para calibración antes del vuelo, y de inicio de captura de datos; en la parte derecha de arriba abajo, aparece un indicador de grados de movimiento sobre el eje vertical, un indicador de grados de movimiento sobre el eje transversal y un indicador de grados de movimiento sobre el eje longitudinal. Estos tres indicadores podrían asociarse, con un indicador de rumbo, horizonte artificial y coordinador de giro respectivamente.

El recuadro inferior derecho contiene los valores instantáneos graficados de las velocidades angulares sobre los ejes vertical y transversal, obtenidas en vuelo, a partir de los cuales son obtenidas posteriormente las ecuaciones asociadas a gradientes de velocidad, aceleración, obtención de valores de ángulos de ataque y determinación de coeficientes de momento.

Diseño de la Aeronave de Fumigación de Alta Precisión AFAP

El proceso de diseño, al igual que los procesos de análisis estructural y aerodinámico, partió desde el punto de vista de la ingeniería inversa, en este sentido, teniendo en cuenta que consiste en un método de aprendizaje, mediante el cual se analizan productos tangibles e intangibles, cuyo objetivo consiste en extraer datos técnicos de diseño y comprender su funcionamiento permitiendo incorporar nuevas características [4], se llevó a cabo el levantamiento de planos, muchos de estos a manera de bocetos, para lograr más tarde una digitalización y representación adecuada que garantizara la estandarización en los procesos de fabricación y producción de partes, a partir de un modelo base.

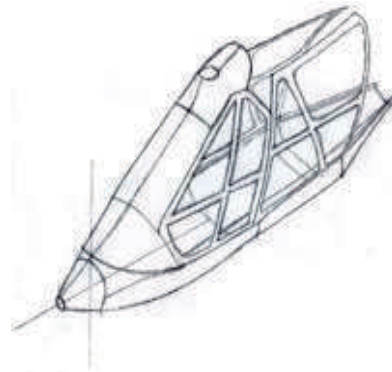


Fig. 6: Boceto preliminar de carenado de la aeronave.

El proceso de diseño de la aeronave de fumigación contó con la participación de personal con altas capacidades, la combinación de profesionales de distintas ramas de la ingeniería, sumado al trabajo continuo de técnicos con más de 10 años de experiencia en la fabricación de partes en aluminio, acero y materiales compuestos; esto dio como resultado un desarrollo de ingeniería a partir de revisiones de diseño, mediante la aplicación de metodologías aplicadas específicamente al modelo de la aeronave intervenida, permitiendo la estandarización de procesos de elaboración de piezas, partes y componentes que facilitan el seguimiento y elaboración de documentos técnicos y manuales ante la autoridad.



Fig. 7: Ensamble de componentes de la estructura y diseño final.

Medidor digital de inclinación

El MDI es un sistema compuesto básicamente por tres partes específicas:

Unidad electrónica centralizada de procesos: consiste en un microcontrolador electrónico que se encarga de gestionar la información que recopilan los sensores, que luego es enviada, recopilada y mostrada en tiempo real en un monitor de computador portátil de estado sólido. Para tal fin se implementa un dispositivo de tecnología Arduino®. Arduino® es una familia de plataformas de código que permite desarrollar sistemas electrónicos interactivos. Los proyectos que allí se elaboran están bajo licencia Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0, la cual permite desarrollar productos con fines comerciales siempre y cuando se de crédito en todo momento a Arduino®.

Instrumentación: Está constituida por los sistemas de sensores que miden las variables físicas o químicas (variables de instrumentación) y que luego se transforman en variables eléctricas. Estas variables eléctricas son llevadas a la unidad electrónica centralizada de procesos, la cual se encarga finalmente de gestionar dicha información. El monitoreo se centra en las siguientes variables de instrumentación, las cuales son entregadas a través de un sensor acelerómetro y giroscopio.

- Ángulo de cabeceo.
- Ángulo de roll.
- Ángulo de trayectoria respecto al norte geográfico.

- Gravedades

Computador portátil: Las variables físicas serán observadas en tiempo real a través de un aplicativo desarrollado en Java™ instalado en este dispositivo, el cual se comunica con los resultados que entregan los sensores. Los datos históricos de vuelo son guardados de forma tabulada. La alimentación eléctrica del computador portátil es suministrada por la batería interna de Polímero de Litio o de Ión Litio (Li-io).



Fig. 8: Componentes del MDI validados en vuelo.

Adaptación del MDI a las condiciones de aviación agrícola de precisión en el sector productivo nacional y regional

El proceso de desarrollo e implementación del MDI dentro de un proceso de certificación de aeronaves de fumigación alta precisión, significó en gran medida, la posibilidad de lograr ante la autoridad aeronáutica de Colombia el cumplimiento de los objetivos planteados en los numerales de la norma CS-VLA [1], sin embargo, la finalización de un proceso como es el de la certificación de una aeronave, deja al final, además de residuos materiales, productos tecnológicos como el Medidor Digital de Inclinación, el reto radica entonces encontrar aplicabilidades que potencien el mejoramiento y la generación de soluciones en campos diversos, como la agricultura de precisión.

Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es un término agronómico que define la gestión de parcelas agrícolas sobre la base de la observación, la medida y la actuación frente a la variabilidad natural o inducida

dentro del cultivo. Implementa tecnologías de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. Las tecnologías de la agricultura de precisión permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones. Entre sus aplicaciones se destacan el monitoreo del rendimiento del cultivo por GPS y las densidades de siembra variable, el control de las dosis de fertilizantes, el manejo localizado de plagas, implementación de sensores remotos, entre otros [5].

El fenómeno de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 está transformando por completo no sólo las organizaciones empresariales, sino también los hábitos de la sociedad, ya que el acceso masivo a nuevos recursos y herramientas basadas en software y hardware libre está permitiendo la creación de un entorno emprendedor donde se pueden obtener soluciones de alta tecnología y rendimiento a bajos costos. La llamada “Culture Maker” o “Cultura hágalo usted mismo”, está abriendo una serie de oportunidades para crear industria en las distintas regiones del mundo que históricamente han sido dependientes de tecnologías suministradas por expertos en el tema. Esta filosofía promueve la idea que todo el mundo es capaz de desarrollar cualquier tarea en vez de contratar a un especialista para realizarla [6].

La posibilidad de conectar todos nuestros dispositivos electrónicos a internet está transformando los paradigmas actuales que tenemos respecto al monitoreo y control de sistemas de forma remota e inmediata, ya que se convierte en un avance tecnológico que ha brindado soluciones y que se ha democratizado. El nuevo paradigma del Internet de las Cosas, “Internet of Things” o “IoT”, se define como una red de objetos físicos –vehículos, máquinas, electrodomésticos y más– que utiliza sensores e interfaces para conectarse e intercambiar datos por internet. El IoT depende de una serie integral de tecnologías claves, como son las herramientas de gestión de Big Data, las analíticas predictivas, la Inteligencia Artificial y el “Machine Learning”, la nube y la identificación por radiofrecuencia (RFID) [7].

Desarrollo tecnológico para la industria aeronáutica de agricultura de precisión

El equipo de ingeniería del proyecto de certificación del avión liviano de fumigación agrícola, ha articulado tecnologías libres para lograr productos que interconecten diferentes líneas de servicios de agricultura de precisión con aeronaves de fumigación. El primer desarrollo creado por el equipo de ingenieros ha sido el Medidor Digital de Inclinación o MDI®, el cual es un dispositivo que permite la adquisición de datos de vuelo de las aeronaves, para determinar datos técnicos vitales para garantizar la aeronavegabilidad:

- Estabilidad de la aeronave en sus ejes.
- Verificación de ángulos críticos, máximos y mínimos.
- Verificación de condiciones particulares para el desarrollo de ensayos.
- Comprobación de parámetros de vuelo.
- Referente de parámetros y condiciones de vuelo para el piloto.
- Monitoreo de condiciones en vuelo en general de la aeronave.
- Vigilancia y control de trayectoria de la aeronave.
- Captura de ángulos sobre los ejes de la aeronave en vuelo.

Este dispositivo ha sido utilizado para apoyar la certificación de aeronaves livianas, de acuerdo al CS-VLA, elaborado por la European Aviation Safety Agency (EASA).

Para cumplir con los estándares de cumplimiento exigidos por la Unidad Administrativa Especial De Aeronáutica Civil de la República de Colombia (UAEAC) o Aerocivil, el sistema MDI ha sido certificado y calibrado por un laboratorio acreditado ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) de acuerdo a la norma ISO/IEC 17025:2005. Este proceso de calibración se realizó de acuerdo al procedimiento DI-003 para la calibración de transportadores de ángulo, del Centro Español de Metrología (CEM), edición digital 1.

Contar con este de dispositivos para la industria de aviones ultralivianos de fumigación agrícola,

permite tener un monitoreo y control mayor sobre la forma en que están siendo conducidas las aeronaves. Tener esta información disponible para análisis posoperativos, hace posible asegurar con mucha más eficiencia y eficacia la operación, minimizando el riesgo de daños a las partes de las aeronaves o el riesgo de accidentes.

El MDI y la gestión inteligente de activos de aeronaves

El MDI, al haber sido desarrollado utilizando tecnologías de hardware y software libres, permite que sea un dispositivo flexible para adicionarle nuevas funciones de monitoreo.

Actualmente, el equipo de ingeniería desarrolla la nueva versión de esta herramienta, la cual no solo capturará datos asociados a ángulos e inclinaciones de un avión liviano de fumigación; este sistema está en la capacidad de obtener datos asociados a velocidades del aire, temperatura del aire, temperatura del líquido refrigerante del motor, altura sobre el nivel del mar, altura sobre el nivel del suelo, temperatura de aceite del motor, esfuerzos del tren de aterrizaje, entre otras variables durante el vuelo. Puede además monitorear la cantidad de agroquímicos que han sido asperjados y cuándo y dónde fueron aplicados. Estos datos, luego de ser capturados por el dispositivo durante el vuelo y una vez la aeronave retorna a la base de operaciones o aterrice en una pista, automáticamente serán subidos a la nube. Esta información llena una bodega de datos, que luego, a través de estrategias de Big Data, entrega un reporte sobre cómo fue llevada a cabo la actividad de fumigación / aspersión de la aeronave, si esta sobrepasó algún límite operativo, si ésta presentó alguna falla en el motor, si la estructura debe ser revisada, si se aplicó efectivamente el agroquímico en los lugares previstos, entre otros aspectos de interés para pilotos, técnicos, administradores, propietarios y agricultores.

Así mismo, aplicando estrategias de Inteligencia Artificial y “Machine Learning”, el sistema puede lograr analíticas predictivas, debido a los datos que está capturando y “aprendiendo” todo el tiempo, emitir informes anticipadamente sobre posibles fallas o imprevistos que pueda sufrir la aeronave. Con base a lo anterior, se podría establecer, entre otros atributos, que el MDI estaría en la capacidad de ser un componente apto para procesos de certificación de

aeronaves en categoría CS-VLA, en la medida que captura y monitorea parámetros y datos requeridos en los numerales de esta norma en vuelo y en tierra a nivel estructural.

Conclusiones

La aprehensión de modelos o prácticas internacionales orientadas a la validación o certificación de componentes, partes o aeronaves en países como Colombia, por iniciativa de las autoridades aeronáuticas, no garantiza per sé, el éxito o cumplimiento de lo establecido en cada uno de los lineamientos o estándares. Aspectos como la cultura propia de cada uno de las regiones de un país tan diverso como Colombia, extrapolada a la cultura organizacional de cada empresa operadora de aeronaves de fumigación, es ampliamente variable. En este sentido, la exitosa realización de un proceso de certificación, no radica solamente en el ó los profesionales que lleven a cabo dicho proceso, si no en la capacidad de aceptación y adaptación al cambio que por parte de las organizaciones exista hacia procesos de esta naturaleza.

La generación de estrategias alternativas a las internacionalmente convencionales para el cumplimiento de estándares de certificación, permite que en países como Colombia, se potencie el desarrollo de la ingeniería, y particularmente la aeronáutica, en regiones apartadas de la capital o centro del país, en donde los recursos técnicos como humano especializados, son escasos o inexistentes. En función de esto, es indispensable contar con herramientas, alternativas o estrategias desde el orden de lo administrativo, para facilitar trámites, encuentros y similares entre solicitante y autoridad que radican en el incremento del costo de los procesos de certificación. La descentralización de las dependencias de la autoridad de la capital del país puede ser una opción.

La incorporación de normas de diseño con altos estándares de calidad y niveles de seguridad, como lo es la CS-VLA, abre la pregunta a nivel país sobre ¿si de verdad países como Colombia cuentan con la voluntad política de establecer lineamientos que favorezcan, desde la postura y conducta de los funcionarios públicos, de la autoridad aeronáutica, la participación activa de pequeños actores del sector aeronáutico para la creación de industria?, lo anterior, debido a que los tiempos de acción y de respuesta de

la autoridad, supera en tiempo, los límites máximos establecidos por ley.

Procesos de certificación como el desarrollado en este documento, abren la posibilidad a desarrollos como el MDI, que si bien, no corresponden a productos clase 1, si hacen parte de una industria de servicios conexos que favorecen y apoyan los procesos de operación normales y seguros de las empresas de aviación comercial, favoreciendo además la articulación e implementación de tecnologías en el campo de la aviación con gran escalabilidad, desarrolladas a nivel nacional, que reducen la dependencia de tecnologías extranjeras en sectores como el agro.

Durante el proceso de certificación, se evidenció que a nivel nacional, en la formación de ingenieros aeronáuticos, no se contempla la preparación en pregrado de cursos o materias enfocadas a la programación, desarrollo de dispositivos o tecnologías como el MDI, estos conocimientos son adquiridos a través de estudios por fuera de la universidad, empíricamente o por ingenieros de otras áreas distintas a la de la aeronáutica.

A partir de lo anterior, y luego de encontrar restricciones a nivel administrativo por parte de la autoridad, y, a nivel económico, en la adquisición de equipos y componentes tanto de aviónica y sensórica especializada, la certificación del MDI ante un laboratorio acreditado, se convirtió en el principal interés del equipo de ingeniería para la obtención de datos y parámetros operacionales. Inicialmente las validaciones en la toma de datos se llevaron a cabo en ensayos con componentes industriales, ajenos a la aeronave, que podían ser comparados y verificados con otros instrumentos de medición calibrados.

Antes de la instalación del dispositivo MDI, a bordo de la aeronave, las mediciones deflexión asociadas a cargas sobre las alas y superficies de control de la aeronave, sirvieron ante la autoridad, como la prueba de validación oficial en la toma y registro de datos, para la formulación de cálculos demostrativos y presentación de reportes de ingeniería. Una vez validados y aceptados los reportes por parte de la autoridad, la campaña de vuelos no oficial, sirvió como el espacio de revisión de datos y parámetros capturados en vuelo, validados y aceptados posteriormente durante la campaña de vuelos oficiales con la participación de representantes de la autoridad y la Fuerza Aérea Colombiana.

Con base a lo anterior, es posible plantear que este es el momento en el cual, los países en vía de desarrollo deben aprovechar la oportunidad que se está presentando en el contexto mundial de la Cuarta Revolución Industrial para desarrollar nueva industria, que permita a los pequeños, medianos y grandes empresarios, y, agricultores, articular tecnologías de alto rendimiento y bajo costo en sus procesos cotidianos, para lograr más autonomía y competitividad. En este sentido, los empresarios y posiblemente los estados que no tomen partido en esta coyuntura, muy probablemente serán desplazados por aquellos que si lo hicieron. La Cuarta Revolución Industrial, al igual que todas las revoluciones que ha tenido la humanidad, presenta un escenario a corto plazo de una gran oportunidad o una gran crisis. Desarrollos como el MDI en el marco de procesos de gran envergadura, como lo es la certificación de una aeronave, son muestra de ello. Lo antes citado, cabe completamente en la esférica de la industria aeronáutica nacional en internacional cuando se sabe que algunas de las funciones de las autoridades son:

- Apoyar y fomentar el desarrollo de la industria aeronáutica.
- Establecer acuerdos de cooperación y bilateralidad entre países miembros de la OACI, que faciliten la importación y exportación de productos, partes y/o aeronaves.
- Contar con recursos técnicos y humano muy bien capacitado, para atender las necesidades específicas de cada estado.
- Tener agilidad, eficiencia y capacidad de decisión, respecto a los tiempos de revisión y aprobación de proyectos de desarrollo de la industria aeronáutica, cuyo letargo atenta contra del éxito técnico y económico de cualquier proyecto u organización.
- Liderar la difusión de sus funciones, e informar sobre aspectos normativos, técnicos y procedimentales a la comunidad aeronáutica mediante congresos, publicaciones, entre otros, en países con baja cultura aeronáutica como Colombia.

Referencias

[1] European Aviation Safety Agency. Certification Specifications for Very Light Aeroplanes CS-VLA. Amendment 1. 5 March 2009.

[2] Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) (Febrero 2017). Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, RAC 26 Aeronaves de Categoría Liviana (ALS), tomado de,

<[http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2026%20Aeronaves%20de%20Categor%C3%ADa%20Liviana%20\(ALS\).pdf](http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2026%20Aeronaves%20de%20Categor%C3%ADa%20Liviana%20(ALS).pdf)>(Febrero 2017).

[3] Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) (Diciembre 2012). Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, RAC 137 Normas de Aeronavegabilidad y Operaciones en Aviación Agrícola, tomado de, <<http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/Normatividad%20Aeronutica/RAC%20%20137%20%20Normas%20de%20Aeronavegabilidad%20y%20Operaciones%20en%20Aviaci%C3%B3n%20Agr%C3%ADcola.pdf#search=rac%20137>> (Febrero 2017).

[4] Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes, Reverse Engineering, An Industrial Perspective. Springer – Verlag. Londres 2008.

[5] Emiliano García, Fernando Flego. Tecnología Agropecuaria. Agricultura de Precisión. Facultad de Ingeniería, Universidad de Palermo. Buenos Aires, Argentina, tomado de:

<<http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>>, (Marzo 2017)

[6] World Economic Forum. (Enero 2016), “Mastering the Fourth Industrial Revolution”, Annual Meeting 2016, tomado de, <http://www3.weforum.org/docs/WEF_AM16_Report.pdf>

[7] SAP, “Definición de internet de las cosas”, tomado de, <<https://www.sap.com/latinamerica/trends/internet-of-things.html>> (Febrero 2017)

Correo electrónico

Toshiro Núñez Torres, ingeniero aeronáutico especialista en sistemas integrados de gestión líder de equipo de certificación, toshingaero@gmail.com – colombiaaeroespacial@gmail.com.

Sebastián Morales Gómez, ingeniero electricista coordinador de tecnologías 4.0 y línea de educación, smorales@colombiaelectrica.com.

Sebastián Arteaga Medina, ingeniero industrial proyectista y diseñador, sebastian9533@gmail.com.

COMPROBACIÓN DIGITAL DEL CONO DE ASPERSIÓN DE INYECTORES PARA MOTORES PT-6A.

MI. Pedro Fernando Melo D. Escuela de Aviación del Ejército, Bogotá

Resumen

Este documento trata de la implementación de cámaras digitales y la desarrollo de un software para determinar errores en el cono de aspersión de los inyectores que pertenecen a la turbina PT6A, se muestra inicialmente un acercamiento al banco de pruebas existente en el Batallan de Aviones del Ejército Nacional de Colombia y se plantea una solución a la incertidumbre que se genera actualmente al realizar este tipo de pruebas establecidas en el manual de mantenimiento, seguidamente se muestra la selección de materiales y apartes de la programación para entregar finalmente los resultados de toda la investigación experimental y aplicada de este proyecto.

Palabras Clave

Cono de aspersión, Mantenimiento, Inyectores, Turbinas PT6A, Visión Artificial.

Abstrac

This document is about of the implementation of digital cameras and the development of software to determine errors in the spray cone of injectors belonging to the PT6A turbine, sample of an approach to the existing testbench in Batallón de Mantenimiento, Colombian Army, and there is a solution to the uncertainty that is currently generated when performing this type of tests established in the maintenance manual.

Below is the selection of materials and programming sections to finally deliver the results of all experimental research and the application of this project.

Keywords

Spray Cone, Maintenance, Injectors, PT6A Turbines, Artificial Vision.

Introducción

Actualmente el Ejército Nacional de Colombia en su flota cuenta con aeronaves como el Cessna Grand Caravan 208B, Beechcraft King Air 300, B-200, C-90, dichas aeronaves se diseñan con turbinas PT6A y estas a su vez cuentan con 14 inyectores que propagan el combustible al motor, estos inyectores son piezas de relevancia en las tareas de mantenimiento, para ello el Batallón de Aviones N°1 en el taller de motores dispone de un banco de prueba de inyectores para determinar visualmente la simetría del ángulo de aspersión y aristas que generan estos, lo anterior para identificar y analizar la existencia de fallas. ESAVE. (2010)



Figura 1 Banco de pruebas de inyectores turbinas PT6

La prueba consiste en realizar la inspección visual de las características de pulverización y calidad de flujo de combustible, lo que conlleva a una

prueba realizada por técnicos y operarios con capacidad de discernir visualmente el estado de los inyectores gracias a la experiencia adquirida.

Es así entonces que los datos recolectados son netamente visuales y no se consideran confiables, pues los inyectores tienen diferentes patrones de pulverización de combustible que determinan su adecuado o inadecuado funcionamiento, lo anterior según lo referencia el manual de mantenimiento en ATA 73-10-05 (FUEL MANIFOLD ADAPTERS AND NOZZLES- MAINTENANCE MANUAL).

En el manual de mantenimiento del motor PT6A, en su revisión N° 54 con fecha del 19 de Febrero del 2018 el fabricante Pratt & Whitney Canada (Pratt & Whitney Canada, 2018) establece gráficamente la calidad buena y uniforme de pulverización y a su vez postula cinco (5) condiciones de prueba *streakiness, spitting, drooling, void, skewness* que describen y especifican las diferentes situaciones de funcionamiento de los inyectores.

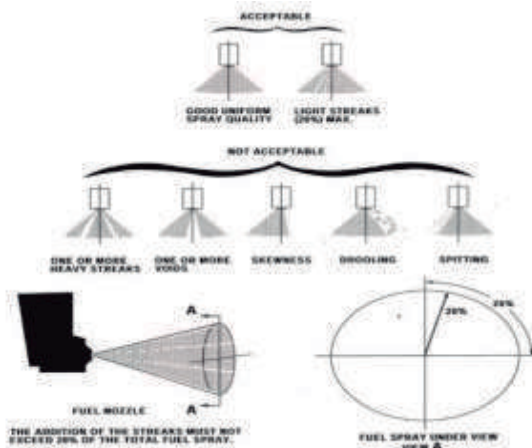


Figura 2 Manual de Mantenimiento Fuel Nozzles ATA 73-10.05. (Pratt & Whitney Canada, 2008)

Partiendo de las condiciones el manual es claro y hace referencia a los inyectores etiquetándolos como aceptable y no aceptable, enfatizando que la totalidad de imperfecciones por condición no debe sobrepasar el 20% de la totalidad del cono de aspersión. Es por esto que nace la necesidad de tecnificar la prueba con el propósito adicional de confiabilidad, ahora bien el software propuesto identificará las condiciones de prueba establecidas

por el manual en cada uno de sus servicios (cada 200 horas), además tendrá en cuenta que la totalidad de imperfecciones en el interior del cono de aspersión del inyector no exceda el 20% del total de este. Esto asegura la calidad de los 14 inyectores que conforman el adaptador Manifold para que atomicen el combustible de forma sincronizada y así cerciorarse que estas características técnicas y mecánicas optimicen el performance del motor.

La identificación del problema se realiza mediante la formulación de la pregunta de investigación ¿Cómo automatizar el banco de lavado de inyectores del Batallón de Aviones N° 1 para lograr la identificación digital del cono de aspersión de inyectores para motores PT6A, entonces se establece esta investigación como tipo experimental y aplicada en sus diferentes fases para el desarrollo, esto debido a la realización de pruebas en varios escenarios y con diferente hardware, lo anterior hasta cumplir con el objetivo general que es diseñar y construir un sistema digital para la inspección del cono de aspersión de inyectores para motores PT-6A.

Materiales y métodos

El primer paso es recopilar la información y recomendaciones del grupo de expertos de la investigación, esto permite establecer que la implementación de técnicas de visión artificial da una solución a confiable y automatizada (Gobierno de España - Ministerio de Educación, 2012), para ello se propone una integración de cámaras de bajo costo con un software especializado según experiencias y documentación anterior. (López, 2019), (Escobar, 2017) (Sierra Salazar, 2011)

Una vez conocidos los ítems enfatizados y dirigidos el cumplimiento del objetivo general del proyecto; en el taller de motores del Batallón de Aviones N° 1 se emprende la puesta a punto de algunas opciones de cámaras digitales para la construcción de prototipos, dentro de la sección interna del banco de lavado de inyectores se alterna diferentes materiales con el fin de adecuar el sitio, la intención es ofrecer condiciones de iluminación que no alteren la captura de imágenes de las cámaras adquiridas.

Para la toma de imágenes se usan cámaras comerciales con una definición de Hd 1080p una velocidad de captura de 30 fps además para con conexión USB, para la de adquisición y procesamiento de imágenes se utilizó como herramienta informática NI Vision Builder Automated Inspection (Hryniewicz, P, 2015), que permite migrar a Labview con el fin de generar un aplicativo que procese, analice y genere reportes.

A medida que avanza el análisis de las pruebas de los inyectores disponibles en el taller de motores se dispone a realizar diferentes pruebas de software que compaginen con lo estipulado en el Manual de Mantenimiento del motor PT6A evitando exponer al técnico con el contacto de combustible.

Entonces se construye un software que permite identificar en distintas regiones del cono posibles errores encontrados y además identifica el porcentaje de error. Uno de los aspectos más importantes de la visión artificial es la iluminación, esto conlleva a realizar diversas pruebas de con materiales de fondo e instalación de focos en campo para seleccionar el de mejor desempeño.

Pruebas de material base

La comprobación del elemento de fondo y la ubicación de los focos de luz, permite diferenciar imágenes que entreguen información satisfactoria para su interpretación posterior.

Algunos materiales usados se muestran a continuación:

M1. Vinilo Autoadhesivo Negro Mate.



Figura 3 M1. Prueba con fondo Vinilo Autoadhesivo Negro Mate

M2. Hoja de papel impermeable.

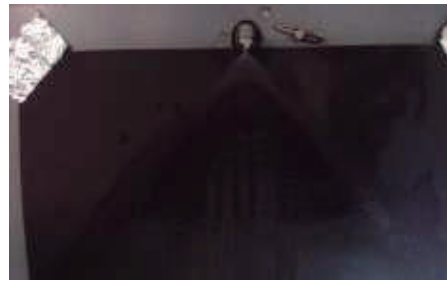


Figura 4 M2. Prueba con fondo Hoja de papel impermeable.

M3. Pranna 661

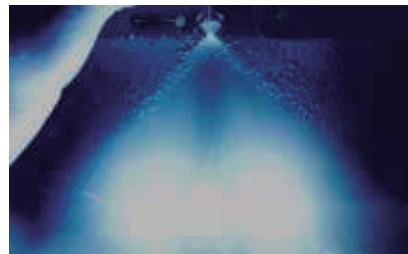


Figura 5 M3. Prueba con fondo Pranna 661

M4. Tela Lino 100% algodón



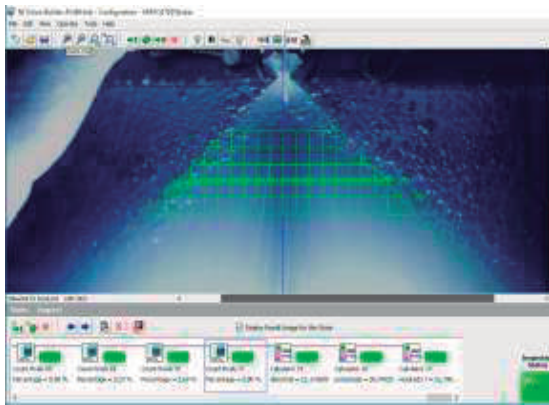
Figura 6 M3. Prueba con fondo Tela Lino 100% algodón

Las pruebas arrojan tres resultados, el primero es el cambio de color en el M4, esto debido a que cambia su tonalidad con las partículas de líquidos que desprende el inyector, la segunda conclusión es M1 y M2 la iluminación solo permite identificar claramente el cono aproximadamente unos 20 mm de la boquilla del inyector y como resultado final se seleccionó el M3 para continuar las pruebas.

Es importante recalcar el uso de trípodes estáticos y anclados al banco para obtener una imagen centrada y dirigida al cono.

Software.

Para la construcción del software se usa la herramienta NI VISION BUILDER, para iniciar es necesario insertar diferentes imágenes tomadas en del banco, con esto se realizan pruebas de errores, seleccionando diferentes áreas y separando pixeles dentro del cono y de igual forma se analizan la cantidad de colores dentro de estas, seguido de una región que determine el porcentaje diferente al del flujo de combustible y así permitirá identificar si hay errores o si el porcentaje excede al estipulado por el manual.



El conteo de pixeles nos permita separar regiones y encontrar un promedio estadístico del porcentaje total de la similitud entre regiones, esto permite además de dar el concepto obligatorio expuesto en el manual de mantenimiento también contribuye con información cuantificada que contribuye a verificar el comportamiento en el tiempo del estado de la condición de los inyectores.

Es así como se entrega al Batallón de mantenimiento de Aviones No. 1 una herramienta informática y cámaras para instalar según especificaciones previas, con el objetivo de que entre en una etapa de prueba de prototipo al menos por 6 meses de uso, esto permite la maduración del

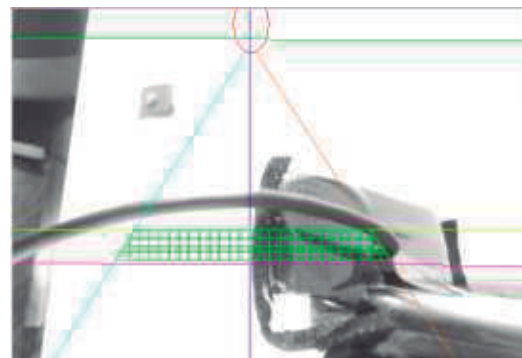
producto condicionado a una retroalimentación permanente.

Resultado

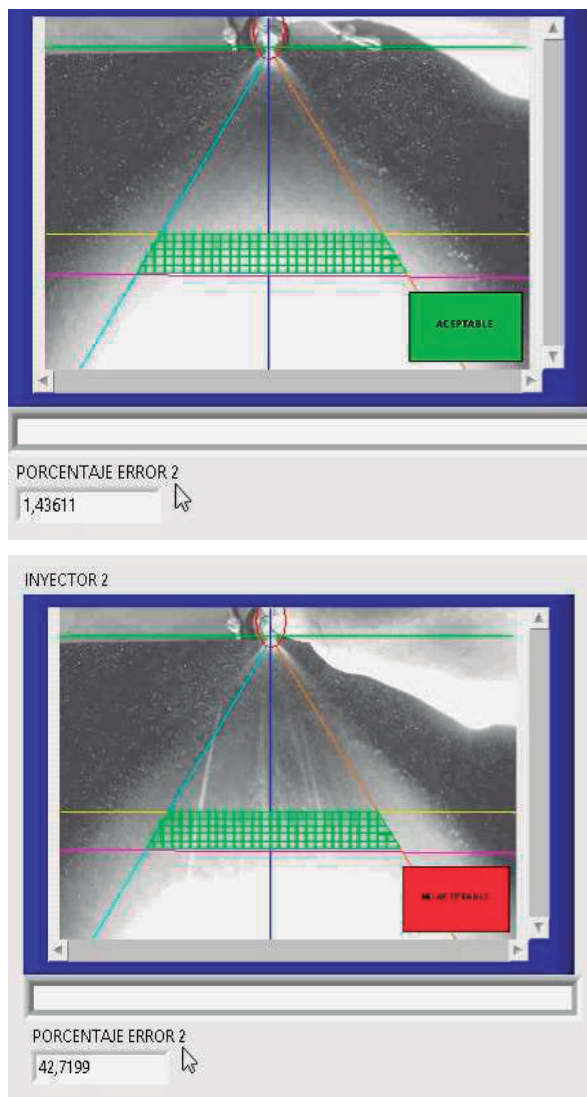
El prototipo con el software incluido es capaz de detectar pixeles en una región determinada con luminosidad uniforme a lo largo de su área. Se intentó hacer pruebas con imágenes tomadas previamente realizado a un inyector en funcionamiento en el banco de lavado, estas imágenes cuentan con un tamaño de 1366 x 768 pixeles e insertarla en el software se pudo analizar que el tamaño de la cámara es de 2304 x 1536 pixeles causando lecturas de porcentaje de error por fuera del cono de aspersión. Lo que conlleva afirmar que el software está configurado únicamente a cámaras digitales que permitan adquirir la imagen a este tamaño.



El software es capaz de reconocer si se toma una medida y no hay cono de aspersión presente. Por medio de una validación programática.



Para pruebas de verificación y puesta a punto se logra verificar la diferencia de múltiples inyectores que dan como resultado una validación del prototipo bajo las condiciones de uso de un 97%.



Las pruebas final llamada 6x6 concluye con la toma seis (6) muestras de seis (6) diferentes inyectores que se intervinieron mecánicamente anticipadamente para generar ángulos de dispersión de aproximadamente 0°, 10°, 20°, 40° 60° y 80°, con ello se verifica el comportamiento del software y se evalúa la dispersión de cada muestra. Con los datos arrojados se estima que si el porcentaje de error calculado superior a 40% se considera no aceptable el inyector.

Aunque, se propone adicionar tres (3) estados intermedios que anticipen la falla o repitan la prueba para optimizar la medida.

Tabla 1 Prueba final 6X6

Ang.	0°	10°	20°	40°	60°	80°
Acp/ No Acp	Acp.	Acp.	No Acp.	No Acp.	No Acp.	No Acp.
P1	1,43	12,74	45,72	65,86	78,45	94,56
P2	2,41	10,53	40,56	63,69	79,19	96,4
P3	2,84	11,24	44,84	65,18	79,3	95,9
P4	0,96	10,65	43,38	66,4	79,53	94,09
P5	4,072	12,463	54,77	65,27	77,9	95,6
P6	2,481	12,875	46,82	64,5	78,5	96,1

Conclusiones

Se puede concluir que el proyecto Comprobación Digital del Cono de Aspersión para motores PT6A con su diseño moderno e innovador en NI VISION BUILDER- LABVIEW se adapta a la estructura principal del Banco de Lavado y prueba de Inyectores de manera positiva al calcular e indicar con precisión la presencia de inconsistencias de estos, indicando la totalidad de imperfecciones en el interior del cono de aspersión según los parámetros estipulados por el Manual de Mantenimiento.

Por ende, la integridad física del técnico, especialista o persona que realiza la prueba no se va a ver afectada, gracias a la implementación del hardware y software capaces de satisfacer los parámetros de prueba de los inyectores. Lo que disminuirá la tasa de inconvenientes con la salud a corto y largo plazo ocasionados por el contacto directo con combustible Jet A1.

Referencias

ESAVE. (2010). Manual de operación banco de lavado y pruebas de inyectores. En ESAVE, manual

de operación banco de lavado y pruebas de inyectores. Bogotá.

Escobar, A., Villanueva, N., Pérez, G., & Hernández, T. E. (2007). Diseño y construcción de un banco de pruebas para las boquillas de inyección de combustibles de los motores PW 100 y PT6. *Ciencia y Poder Aéreo*, 2(1), 41-44.

Gobierno de España - Ministerio de Educación. (Febrero de 2012). *Aplicación práctica de la visión artificial*. España.

Hryniewicz, P., Banaś, W., Gwiazda, A., Foit, K., Sękala, A., & Kost, G. (2015). Technological process supervising using vision systems cooperating with the LabVIEW vision builder. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 95, No. 1, p. 012086). IOP Publishing.

López-Ortiz, S. A., Orozco-Cantos, L. S., Chuquin-Vasco, J. P., López-Velástegui, D. A., & Ocaña-Sánchez, C. F. (2019). Mejoramiento de diseño de un banco hidroneumático para pruebas de inyectores del motor PT6 A-68C del avión A-29B Súper Tucano. *Polo del Conocimiento*, 4(2), 425-440.

Pratt & Whitney Canada (2008). *Illustrated parts catalog PT-6*. Manual P/N 3036132

Pratt & Whitney Canada (2018). *MANUAL DE MANTENIMIENTO MOTOR PT-6A*. En *MANUAL DE MANTENIMIENTO ATA 73-10-05* (págs. ATA 73-10-05)

Sierra Salazar, E. A. (2011). Diseño e implementación de un proceso de inspección y pruebas de inyectores de turbinas, en el comando aéreo de mantenimiento de la fuerza aérea colombiana. *Universidad Javeriana*, 70.

2do Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico

Octubre 25, 2019

Uso de datos para conectar aeropuertos, aerolíneas y autoridades de aviación para beneficio de los pasajeros

PhD. Clyde Hutchinson
Head of Innovation Viva Air
Viva Air Colombia

M.A. Federico Mejia
Manager Viva Air Labs
Viva Air Colombia

Los datos a menudo se denominan el "nuevo petróleo" debido a su potencial para crear nuevos modelos de negocio y eficiencias. El sector de la aviación ha estado debajo del promedio al momento de utilizar plenamente la gran cantidad de datos recopilados y de desarrollar mecanismos para permitir que los datos se compartan con otros, como aeropuertos, autoridades de aviación, legisladores y proveedores de transporte. Viva Air Labs ha estado haciendo campaña internacionalmente, a través de nuestra iniciativa "Open Data Airlines" para fomentar el intercambio de datos con otras corporaciones, autoridades, universidades y startups para ayudar a resolver los desafíos que enfrenta la industria de la aviación. Como aerolínea, estamos particularmente interesados en mejorar la experiencia de viaje de nuestros pasajeros de principio a fin, y en reducir las fricciones como el transporte, los retrasos y las cancelaciones de vuelos.

¿Por qué compartir datos?

A medida que aumenta el número de pasajeros aéreos, especialmente en regiones como Latinoamérica y África, existe la necesidad de una colaboración entre los proveedores de transporte / movilidad, reguladores y legisladores para asegurarse de que exista la infraestructura correcta y que las operaciones sean efectivas en prevenir interrupciones. Todo esto con el objetivo de un viaje sin interrupciones desde la puerta del viajero hasta su destino. Hemos desarrollado una lista de casos de uso sobre por qué el intercambio de datos puede resolver desafíos y conducir a un viaje mejorado y sin interrupciones:

Aquellos que viajan por primera vez, que en Viva Air pueden llegar hasta el 30% de los pasajeros en ciertas rutas, a veces pueden causar interrupciones debido a la falta de coordinación de la información y la comunicación entre los integrantes de la cadena de operación. La capacidad de proporcionar una clara coordinación de datos e información permitirá que los pasajeros y las aerolíneas estén mejor informados y tengan menos demoras.

La capacidad y el intercambio de datos en tiempo real permitirán mejorar las operaciones, como la coordinación entre los equipos de asistencia en tierra e inmigración, para proporcionar tiempos de llegada precisos y un mejor flujo de pasajeros en el aeropuerto.

Prevención de información errónea mediante el uso compartido de datos para permitir la estandarización de la comunicación de los pasajeros, para evitar el estrés y la confusión de los pasajeros por información procedente de múltiples fuentes.

Permitir un uso más eficiente de la infraestructura existente (es decir, espacios, puertas, etc.) y proporcionar información basada en datos para la política y planificación de la infraestructura.

- El intercambio de datos entre aeropuertos, aerolíneas y autoridades de aviación creará el potencial para proyectos conjuntos de investigación y desarrollo que permitan el desarrollo de mejores servicios de pasajeros basados en insights y datos reales. Esto también podría ser una plataforma para permitir a las startups compartir o probar sus innovaciones.
- Mejor intercambio de datos de movilidad terrestre, incluyendo taxis, viajes compartidos, autobuses y otros medios de transporte para permitir la identificación de cuellos de botella y la comunicación de interrupciones a los pasajeros.
- La accesibilidad de los viajes aéreos para pasajeros con movilidad reducida (PRM por sus siglas en inglés) puede ser un desafío y generar demoras operativas debido a la falta de coordinación. Una mejor coordinación podría democratizar los viajes para los pasajeros con movilidad reducida.
- Mejorar la sostenibilidad al compartir ideas que conduzcan a la eficiencia energética y la reducción de emisiones por la disminución de retrasos.

¿Qué datos compartir?

La flota de aviación global generará 98 mil millones de gigabytes de datos para 2026, por lo que, en ese colosal lago de datos, necesitamos definir qué datos compartir y de cuáles obtener información. La estandarización de la recopilación y el intercambio de datos que impiden la recopilación y el almacenamiento ineficaces de datos ("Data Hoarding" o almacenamiento compulsivo de datos), no solo es costosa, sino que aumenta las emisiones innecesarias debido al uso de energía. Sugerimos compartir datos en las siguientes áreas:

- Proveedores de movilidad terrestre desde y hacia el aeropuerto, como tipos de servicio, precios, horarios.
- Datos de la aerolínea, tales como horarios de vuelos (estimaciones y datos reales), tipo de aeronave, capacidad/ocupación de asientos, pasajeros en tránsito, equipaje, personas con movilidad reducida o condiciones especiales.
- Datos del aeropuerto, como mapas, puntos de información, información de transferencia, tiempos de desplazamiento, reclamo de equipaje, datos de ubicación/posición de aviones y datos de impacto ambiental (ruido, emisiones, etcétera).
- Datos de interrupción/demora, incluyendo las de todas las partes, que deben indicar el estatus de la demora continua (incidencia, tiempo, razón) y las razones de la interrupción.
- Datos del espacio aéreo, incluyendo metrológicos, planes de ruta y datos de horarios por área geográfica, restricciones de espacio aéreo.
- Datos de llegada de todas las partes, como el análisis del estatus programado contra el real, los tiempos de espera en fila (en inmigración y seguridad), el manejo en tierra y los tiempos de espera del equipaje.

¿Quién debería compartir datos?

Esta en realidad es la suma de las partes, ya que cuantas más organizaciones compartan datos, mejor será la información y los resultados. Idealmente, esto debería reflejar el ciclo de vida del viaje de un pasajero y sugerimos la siguiente lista (no exhaustiva) de partes clave interesadas:

- Aerolíneas
- Aeropuertos
- Agencias gubernamentales (en Colombia, Ministerio de transporte - INVÍAS; Aerocivil; ANI; Supertransporte, gobiernos locales, DIAN, IDEAM, etc.)
- Manejo en tierra (en Colombia, LASA)
- Compañías tecnológicas como SITA, Amadeus, Sabre
- Agentes de viajes
- Movilidad terrestre como taxis/viajes compartidos y servicios locales de autobuses
- IATA/ICAO
- Proveedores de seguridad del aeropuerto
- Proveedores de carga aérea

¿Cuáles son los desafíos para compartir datos?

Los datos abiertos o el intercambio de datos entre organizaciones es un concepto relativamente nuevo y muchas regulaciones de casos deben estudiarse de cerca ya que ciertas agencias gubernamentales pueden no tener permitido compartir datos. También existe una legislación específica sobre la recopilación y el almacenamiento de datos, como el RGPD para pasajeros europeos. En Viva Air Labs, hemos creado un código de ética para compartir datos, así como un acuerdo de intercambio de datos para garantizar que mantengamos los estándares, permitamos una mayor participación de los socios y evitemos el abuso.

Dado que muchos aspectos de los datos compartidos pueden tener una sensibilidad de seguridad personal y nacional, deben implementarse procedimientos efectivos de seguridad cibernética. Esto es para permitir que todos los socios se sientan seguros al compartir datos sin la posibilidad de pérdida por un ataque o de daños a la reputación.

La sensibilidad comercial de ciertos datos, así como la propiedad de los datos y cualquier propiedad intelectual (IP por sus siglas en inglés) generada a partir del análisis también son desafíos por considerar y deben establecerse en cualquier acuerdo de intercambio de datos entre todos los socios.

Finalmente, un desafío para muchas organizaciones será contar con la infraestructura interna y el talento disponible para poder coordinar el intercambio de datos con socios externos que puedan impedirles cooperar en cualquier colaboración. Por lo tanto, las partes interesadas más grandes deberían ayudar a las partes interesadas clave más pequeñas a desarrollar la estructura para permitir el intercambio de datos.

¿Cuáles son los siguientes pasos?

Para crear una colaboración abierta de intercambio de datos entre un gran número de partes interesadas y organizaciones, se debe establecer una estrategia clara. Esto implica educar a las partes clave interesadas sobre los beneficios, así como crear infraestructura compartida, estándares e identificación de los conjuntos de datos básicos requeridos.

Para establecer la aceptación, le sugerimos trabajar en una serie de pequeños proyectos que

son problemas comunes para cada parte interesada. Esto aumentará la confianza en el intercambio de datos y demostrará los beneficios comerciales de los conocimientos adquiridos utilizados para la toma de decisiones basadas en datos dentro de estas organizaciones.

El paso final después de demostrar la efectividad de la plataforma es abrirla a innovadores externos como la industria, las universidades y las asociaciones de startups en I + D. Esto permitirá no solo obtener información más profunda, sino también el desarrollo conjunto de productos innovadores para ayudar a todas las partes interesadas a avanzar hacia el objetivo de verdaderos viajes de pasajeros sin interrupciones.

Medellín, Colombia
Agosto 29 de 2019

ALGORITMOS COMPUTACIONALES PARA ÓRBITAS DE TRANSFERENCIA CON ASISTENCIA GRAVITACIONAL

Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, Maestría en Logística Aeronáutica, Edificio

CT. José Edmundo Sandoval, Carrera 11 No. 102 -50, Bogotá D.C., Colombia

Jeimmy Nataly Buitrago Leiva¹

Álvaro Fernando Moncada Niño²

El presente artículo, presenta los resultados de una investigación del realizada del Clúster Aeroespacial Colombiano ubicado en la región de Rionegro, Antioquia Colombia a través de las Capacidades de gestión, Innovación, asociación y tecnológica.

En este estudio se evidencio que la región de Rionegro Antioquia se ha venido convirtiendo en referente de desarrollo para la industria en Colombia y que los actores de la región (empresas, estado y academia) han jugado un papel activo en su avance.

También se encontró que es a nivel regional donde se establecen las bases y las condiciones primarias para la creación de un ambiente favorable para la competitividad, como por ejemplo: la permanencia económica, el grado de sofisticación del portafolio de productos y la formación de capital humano, entre otros.

La presente caracterización hizo parte del proyecto conjunto realizado entre la Universidad de los Andes y la Escuela de

Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana (EPFAC), con el fin de orientar esfuerzos y determinar las capacidades que requiere la industria a nivel de los cuatro clústeres aeronáuticos que se encuentran en desarrollo en el país. Esta parte de la investigación estuvo enfocada al análisis de los factores que previamente se determinaron como claves para el desarrollo de los clústeres: capacidades de innovación, gestión, asociación y tecnológica.

El estudio evidencio la existencia de diferentes iniciativas, de diversos actores con alcances e interés no necesariamente alineados, lo cual se acentúa con la ausencia de mecanismos de gobernanza y ratifica la desarticulación que existe entre los actores que conforman el sector para formalizar un encadenamiento productivo, que esto se deriva, no únicamente en este estudio, sino varios referentes teóricos que se han ido marcado por parte de los actores en construir esa gran asociación en comunidad aeronáutica que necesita el país y a nivel mundial.

¹ Subteniente de la Fuerza Aérea Colombiana. Magíster en Logística Aeronáutica

² Investigador Titular de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. Phd en Dirección de Empresa

Como referentes, también se trae a colación los esfuerzos que se han realizado a nivel regional, en especial, el municipio de Rionegro en fortalecer este sector, a través de pequeños foros académicos, que han mostrado los esfuerzos y resultados para desarrollar esa sinergia entre la academia y la empresa en el ámbito industrial.

El propósito del proyecto de investigación estuvo enfocado en contribuir a las apuestas estratégicas a nivel nacional, orientadas por el gobierno y autoridades aeronáuticas del país desde la academia, con el propósito de participar en las transformaciones del sector.

Se han conformado diferentes objetivos que sitúan la participación a nivel gubernamental de orientar políticas que faciliten el desarrollo industrial.

La justificación del presente proyecto está sustentado en: i) el crecimiento de la Industria aeroespacial a nivel global, ii) el ciclo de sustitución Acelerado de los aviones obsoletos y piezas, iii) el crecimiento del sector de transporte aéreo civil y que estos a su vez va de la mano el crecimiento en el transporte ámbito militar, iv) el desarrollo del sector aeronáutico junto a las iniciativas de productividad y competitividad del Estado colombiano, v) los nichos de oportunidad en mercado nacional y regional y vi) la consideración de sector estratégico para el desarrollo del país.

Tomando como referente fuentes primarias con los actores principales que interactúan con el Clúster, se resalta una intención importante de la región que tiene como propósito, apalancado en el aeropuerto José María Córdoba, construir

un encadenamiento productivo a través de las pequeñas industrias que generan y aportan al sector aeronáutico.

Un primer objetivo específico del estudio se centró en identificar las capacidades y el papel de los actores en el clúster aeroespacial, para lo cual se partió del concepto de clúster, que permite definir y conceptualizar la temática descrita y enmarcada en el desarrollo de la investigación. Este concepto fue originado por Michael Porter en unas investigaciones donde describía el termino como una acumulación de empresas del mismo sector o sectores afines que se apalancan a nivel institucional y que forman un vínculo con la academia, de esta manera se establece una sincronía orientada a incrementar las capacidades productivas del sector.

¿Cuáles son los resultados de un buen ejercicio y acción de clúster? Un aumento de productividad que estimula la innovación y se convierte en tendencia a la exportación y por ende un aumento en los índices económicos, la diversificación de las empresas establecidas, la concentración de trabajadores que implica un ingreso a nivel de producto interno bruto en el país, la concentración del conocimiento y la optimización y reducción de costos.

También es importantes tener no solamente referentes a nivel nacional, por el concepto y la práctica mundial utilizada, sino mirar que está haciendo a nivel internacional y ver cuáles son esos referentes con los cuales Colombia se puede comparar sin desconocer la propia naturaleza que ha tenido Colombia y su evolución. A raíz de lo anterior, se estudiaron dos ejemplos importantes de

clúster, que se encuentran en la región de América, que es el caso de México, en los cuales se pueden tener una gran afinidad a pesar de haber estudiado otros clústeres desarrollados en Europa y Norteamérica, los clústeres aeronáuticos y aeroespacial de Querétaro y Baja California tienen condiciones similares que la industria aeronáutica colombiana puede desarrollar.

En el caso del clúster de Querétaro, el cual ha hecho un vínculo muy importante con la academia, a través de la Universidad de Querétaro y que esto ha permitido impulsar la empresa a través de proyectos de investigación y de políticas públicas.

También es el caso del clúster de Baja California, que también ha tenido una dinámica especial, pero en el proceso de la investigación se detectó que, aunque son clústeres del mismo país, aún falta el desarrollo del término de “asociación” para trabajar en conjunto y sacar una política que impulse al país en general.

Para el desarrollo de este proyecto de caracterización, se tuvo que identificar cuáles eran esos actores que conformaban la tríada universidad-empresa-estado, teniendo como punto central la Academia por lo que es un proyecto académico y también teniendo en cuenta todos estos referentes económicos y políticos que se emiten para el país. Se empezó desde el CONPES 3866 analizando todas esas condiciones económicas que dan impulso al desarrollo de la industria, también enmarcados bajo la política de desarrollo productivo que orienta al país y le propone una línea de ruta para saber hacia dónde va, que es lo que propone, cuales son sus apuestas productivas y en esos términos, se estudió desde dos enfoques: la productividad y competitividad,

establecidos por un diagnóstico del sector, identificando oportunidades, y que estas se vuelvan un reto para materializarlos.

El proyecto tuvo dos enfoques, alineados en la competitividad y políticas públicas, este proyecto en especial, se enfocó en la competitividad bajo la mirada y el estudio del clúster aeroespacial de Rionegro, Antioquia.

La metodología utilizada en este proyecto de investigación, fue mixta, a través de un estudio cualitativo y cuantitativo, el cual se trató no solamente dar resultados generales a nivel cuantitativo, sino llegar al nivel de cualificación de mirar qué es lo que necesita el actor, porque se comporta de esa manera y que puede aportar al sector.

Por la rigurosidad del proyecto, a través de unos filtros de validación de expertos y de documentación, se aprobaron los instrumentos utilizados: encuestas y entrevistas, donde participaron expertos de la Universidad de los Andes y de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

En el desarrollo del proyecto se identificó tres retos importantes, los cuales el proyecto quería apuntar. El primero, se focalizaba en el fortalecimiento de capacidades regionales, que permitió construir un encadenamiento y proponer cómo se podría llegar allá, evidenciando que es fundamental la inversión tecnológica en el desarrollo del sector aeronáutico que pretende también, dar una mirada aeroespacial y accionar la capacidad de asociación y articulación entre todos los actores.

Su direccionamiento estratégico está enfocado a una perspectiva Competitiva, interna, externa con habilidades técnicas

en aspectos claves para la gestión con la conformación de alianzas, convenios para lograr mayor competitividad

En segundo lugar, se encuentra el tema de certificación es algo fundamental por la especificación y por esos factores únicos que solo contempla el sector aeronáutico y que es importante que las empresas que participan en este, no solamente la apliquen sino que tengan el pleno conocimiento de cómo se desarrolla esta normativa aeronáutica, y en tercer lugar, la participación de la academia no solamente a nivel técnico, sino también a nivel profesional es uno de los más relevantes factores que involucra la formación de esos directivos y técnicos en la industria aeronáutica y aeroespacial. Adicionalmente, el tema es bilingüe forma parte esencial de esta cadena productiva.

Aterrizando el mapa de actores a nivel regional, se encontró que 36 empresas hacen parte de este Clúster, ya sea directa o indirectamente y que no solamente son agremiaciones empresariales sino también gubernamentales estatales y comerciales. De esas 36, se identificó que 14 pertenecen específicamente al clúster aeroespacial colombiano, entendidos como una corporación, y de estas 14 se seleccionó 11 para hacer las respectivas encuestas.

En cuando a los resultados, se dividieron en cuatro capacidades sobresalientes, la primera fue la capacidad de gestión, en la cual, se identificó que, de las empresas de Rionegro, la capacidad que más se resalta en esta, es la capacidad manufacturera y de producción. También es importantes tener en cuenta, que empresas como Avianca han establecido su MRO y que han apalancado a las pequeñas empresas para que le aporten al sector y que hacen parte

de ese encadenamiento productivo y que la mayoría de las empresas está encaminada a ser un nivel dentro de la cadena de valor y logística.

En la capacidad tecnológica, se evidencia a nivel general, que es un factor que, aunque la mayoría de las empresas considera importante, aún no tienen esa capacidad en su totalidad que no cuentan con todos esos equipos que les soporte todo el desarrollo tecnológico y de innovación para construir piezas o que le aporte directamente al sector aeronáutico. Dentro de estas, se puede comprobar que la mayoría de las empresas especifican que necesitan una política del sector que ayude y apalanque el tema tecnológico, por lo que este, involucra directamente un tema recursos y de inversión, y que si no existen este tipo de políticas que ayuden a impactar esta capacidad no permite la evolución de este.

En enfoque de roles para la industria aeronáutico de acuerdo con las capacidades actuales y potenciales del sector industrial en el que se encuentra en mayor proporción hacia la producción, específicamente en la fabricación de componentes PMA y el convertirse en un tier dentro de las organizaciones OEM.

En cuanto a la capacidad de innovación, se detectó que muy pocas empresas son las que cuentan con un centro de investigación e innovación dentro de su propia corporación. Lo anterior evidencia que hay un estancamiento entre la investigación y la innovación, y que, si no está un impulso de estos dos factores en la industria aeronáutica como sector importante en el desarrollo de nuevos conocimientos, es muy baja la expectativa en materia de producción que se puede esperar de

resultados en materia de innovación y desarrollo. Un hallazgo que se resalta en la capacidad de asociación y que inicialmente no se había contemplado, es que se observó que, a pesar de que hay un esfuerzo no solamente a nivel regional sino a nivel nacional de poder reunir y agremiar a todos los actores que hacen parte de la industria aeronáutica, aún hace falta sincronizar, aún falta que desde los mismos actores empresariales exista un dialogo común que permita establecer una sinergia que necesita el sector.

También se resalta dentro de esta investigación, que parte de esa apuesta estratégica de desarrollar una mesa técnica aeroespacial del oriente antioqueño se materializó en ese lapso de tiempo de la investigación y que no solamente contaba con la presencia de actores empresariales, como inicialmente se tenía proyectado, sino también cuenta con la presencia del SENA, el Aeropuerto José María Córdoba, de la Alcaldía, la Cámara de Comercio, que ayudó no solamente a tener una visión empresarial sino una visión gubernamental.

Las estrategias identificadas a nivel académico se consolidaron y analizaron en través del esquema de las cinco fuerzas que materializa Porter para estudiar los factores internos y externos, apoyados en una matriz DOFA, sin dejar a un lado también, un estudio elaborado desde una perspectiva externa y global con las condiciones propias dadas en el sector aeronáutico colombiano.

A manera de conclusión, se elaboró por cada capacidad estudiada. De la capacidad de innovación, se evidencia que es importante inyectar capital en esta industria porque la innovación va asociada

a la investigación y si esta no está apoyada con recursos no es mucho lo que se pueda desarrollar como capacidad, en especial, porque se necesita el patrocinio del gobierno como ente rector de crecimiento económico nacional y de educación, puede ser en el desarrollo de grandes proyectos de investigación y de inversión que le permitan dar el impulso que se necesita a la innovación en todas las empresas que participan en este en este Clúster.

En la capacidad de asociatividad, debe propender a fortalecer el vínculo entre las universidades y empresas, que no sea una alianza desvinculada, sino que trabajen en cooperación y que se pueda suplir la demanda a través de la investigación y desarrollo ofrecido por la universidad, lo descrito permite la definición de roles para la generación de confianza y de fortalecimiento en capacidad entre las empresas.

De la capacidad tecnológica, se debe fortalecer la inversión en tecnología pero que esta esté ligada a la formación de capacitación y entrenamiento del personal, porque de acuerdo con lo manifestado los directivos de las empresas, así se tengan las mejores adquisiciones tecnológicas si el personal técnico no sabe cómo usarla o si el personal directivo no sabe cómo direccionar los procesos y liderarlos, lo que lleva a que no se potencializa ese recurso y pueda generar pérdidas. De acuerdo con lo anterior, se resalta que la capacidad tecnológica debe estar asociada con la transferencia de conocimiento, que no sólo se conforme con el conocimiento adquirido por el personal que se encontraba en su momento en las empresas, sino que exista una transferencia a futuras generación y entre

las empresas, que ese conocimiento adquirido se replique y vaya creciendo cada vez más.

Así mismo, las empresas deben estructurar proyectos de innovación y desarrollo para que puedan ser impulsadas y apoyadas a través de la inversión gubernamental, pero si no existe una solicitud por parte de estas, es difícil que el gobierno pueda dar ese soporte.

De la capacidad de gestión, lo que más resalta es el proceso de certificación, que no sólo tiene que estar liderada por el gremio empresarial, sino también por los entes gubernamentales, que sea un derrotero claro para que a través de esta se puede desarrollar el sector.

La intención finalmente es que este estudio no se quede plasmado en escritos, sino que se pueda aglomerar a todos actores que hacen parte de este sector para construir ese derrotero que necesita la industria, que se construya un documento robusto de política CONPES donde todos se puedan regir y compartir lineamientos a nivel gubernamental. Una de esas experiencias, trayéndolo a colación, fue que hablando con el director de operaciones del MRO de Rionegro, comentaba que lamentablemente ellos no podían tramitar normalmente los productos químicos de pintura especiales para la aplicación en las aeronaves porque no existe una política que les permitiera acceder sin impuestos altamente costosos el equipo de químicos que necesitaban, afirmaban la necesidad urgente de unos lineamientos políticos que le permitan cobijarse bajo parámetros exclusivos del sector, entendiendo que es diferente frente a otros sectores económicos, que el sector aeronáutico y aeroespacial comprende de ciertas

particularidades diferentes a los demás y que si todos los actores del sector no se unen y contribuyan como líderes, es imposible permitir el crecimiento del sector.

Referencias

Acosta Prado, J. C., & Fischer, A. L. (2013). Condiciones de la gestión del conocimiento, capacidad de innovación y resultados empresariales. Un modelo explicativo. *pensamiento y gestión*, 35, 25-63.

Acosta, J. C. (2009). Ba: Espacios de conocimiento. Contexto para el desarrollo de capacidades tecnológicas. *Boletín Intellectus*, 15, 12-18. Acosta, J. C. (2010). *Creación y desarrollo de capacidades tecnológicas: Un modelo de análisis basado en el enfoque de conocimiento*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Acosta-Prado, J. C., & Longo-Somoza, M. (2013). Sensemaking processes of organizational identity and Technological Capabilities: an empirical study in new technology-based firms. *Innovar Journal*, 23(49), 115-130.

Acosta-Prado, J. C., Bueno Campos, E., & Longo-Somoza, M. (enero-junio de 2014). Technological capability and development of intellectual capital on the new technology based firms. *Cuadernos de Administración*, 27 (48), 11-39.

Acs, Z. J., Audretsch, D. B., Braunerhjelm, P., & Carlsson, B. (2009). The knowledgespillover theory of entrepreneurship. *Small Business Economics*, 32(1), 15–30. *Small Business Economics*, 32(1), 15-30.

Aeronáutica Civil. (2018a). II Foro Sector Aéreo 2030. Bogotá: Aeronáutica Civil.

Aeronáutica Civil. (2018b). RAC 145. En A. Civil, Organizaciones de Mantenimiento (pág. 54). Bogotá: Aeronáutica Civil.

Ahrne, G., & Brunsson, N. (December de 2005). Organizations and meta-organizations. *Scandinavian Journal of Management*, 21(4), 429–449.

Alcaldía de Rionegro- Municipio de Antioquia y Corporación empresarial del Oriente Antioqueño. (10 de 12 de 2015). Corporación empresarial del Oriente Antioqueño. Obtenido de Convenio de Cofinanciación N°055.

Aldrich, H., & Staber, U. H. (1988). Organizing business interests: Patterns of trade association foundings, transformations, and deaths. (G. R. Carroll , Ed.) *Ecological models of organizations*, 111-126.

Amit, R., & Schoemaker, P. (1993). Strategic asset and organizational rent. *Strategic Management Journal*, 14, 33-46.

ANDI. (16 de 01 de 2019). ANDI. Obtenido de ANDI: <http://www.andi.com.co/>

Ansoff, H. (1965). *Corporate Strategy*. Nueva York: McGraw-Hill.

Arena, J. (28 de 11 de 2018). Foro "Desarrollo de la Industria aeronáutica". "Aeroespacio- Una oportunidad que no se puede dejar pasar" . Medellín,

Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.

Arias Jiménez, F. (2016). Centro aeronáutico de Avianca da alas al Oriente antioqueño. *El Colombiano*, 01-02.

Arisizabal, G. A. (28 de 11 de 2018). Avianca. Rionegro, Antioquia, Colombia.

ATAG. (2018b). *El transporte aéreo genera 65,5 millones de empleos y aporta*. Atlanta: ATAG- Oxford Economics.

Audretsch, D. B. (1995). *Innovation and Industry Evolution*. M.A: MITPress. Massachusetts London, England: The MIT Press Cambridge.

Audretsch, D. B., & Keilbach, M. (2005). *Entrepreneurship Capital — Determinants and Impact*. . CEPR Discussion Papers 4905, C.E.P.R. Discussion Papers. Recuperado el 01 de 07 de 2019, de <https://www.aeaweb.org/assa/2006/010714300301.pdf>.

Audretsch, D. B., Keilbach, M., & Lehman, E. (2006). *Entrepreneurship and Economic Growth*. Oxford: Oxford University Press.

Baja Aerospace Clúster. (4 de 11 de 2018). *Cluster BC*. Obtenido de Baja California y Colombia, apoyo a la capacitación: <http://bajaaerospace.org/2018/11/01/baja-california-y-colombia-apoyo-a-la-capacitacion/>

Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.

CAESCOL. (2018). Corporación Cluster Aeroespacial Colombiano. *Productos y servicios*. Rionegro, Antioquia, Colombia: CAESCOL.

Calderón García, J. A. (2018). AIRPLAN. *AIRPLAN*. Rionegro.

Cámara de Comercio de Medellín. (16 de 06 de 2018a). *Cluster y competitividad*. Obtenido de Cámara de Comercio de Medellín: <http://www.camaramedellin.com.co/site/Cluster-y-Competitividad/Comunidad-Cluster/Medellin-Ciudad-Cluster.aspx>

Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño. (2018b). *HUB de Servicios Aeronáuticos para el José María Córdova*. Obtenido de http://www.orientecomercialdigital.com/sitio/noticias_detalle.php?id=81
Cepal. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina. Serie Estudios y Perspectivas*. México: Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5014-indicadores-de-capacidades->

Dalziel, M. (2006). The impact of industry associations: Evidence from Statistics Canada data. *Innovation: Organization & Management*, 8(3), 296-306. doi:<https://doi.org/10.5172/impp.2006.8.3.296>

Dávila, J. C. (enero- junio de 2012). La doble dimensión de una capacidad organizacional: evidencias de una organización sin ánimo de lucro que compite en el mercado. *Cuadernos de administración*, 25(44), 11-37.

Deloitte. (2018). *2018 Global aerospace and defense industry financial performance study*. Obtenido de Commercial aerospace sector performance decelerates, while defense sector continues to expand: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Images/infographics/gx-eri-global-a-d-industry-financial-performance-study-2018.pdf>.

Dilaver, O., Bleda, M., & Uyarra, E. (2014). Entrepreneurship and the emergence of industrial clusters. *Complexity*, 19(6), 14–29.

DNP. (2017). *Desarrollo productivo del Sector Aeronáutico*. Bogotá D.C: DNP.

EASA. (14 de 01 de 2019). *EASA*. Obtenido de <https://www.easa.europa.eu/>

Eisenhardt, K., & Martín, J. (2000). Dynamic capabilities: The evolution of resources in dynamic markets. *Strategic Management Journal*, 21, 1105-1121.

Foden, D., & Magnusson, L. (1999). *Entrepreneurship in the European Employment Strategy*. Bruselas: European Trade Union Institute.

Garavito E, J. C., Pérez Peña, N. L., Munive Herrera, B. M., Papell Puigferrer, M., Ramirez F, M. C., & Molina O, F. (2018). *Iniciativas clúster en Colombia*. Bogotá: Innpulsa- Universidad del Rosario.

García, F., & Navas, J. E. (2007). Las capacidades tecnológicas y los resultados empresariales: un estudio empírico en el sector biotecnológico español. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 32, 177-210.

Geschier, J. B. (28 de 11 de 2018). Airbus. Rionegro, Antioquia, Colombia: Universidad Católica del Oriente UCO.

Grand, R. M. (2016). *Contemporary Strategy Analysis*. Padstow, Cornwall: Wiley.

Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantages: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33(3), 114-135.

Grant, R. M. (1996). Prospering in dynamically-competitive environments: organizational capability as knowledge integration. *Organization Science*, 7, 375-387.

Grant, R. M. (2006). *Dirección Estratégica: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones* (Vol. 5). Madrid: Civitas.

IATA. (2016). *THE IMPORTANCE OF AIR TRANSPORT TO THE UNITED STATES*.

London: Oxford Economics. Instituto para el Fomento a la Calidad Total. (2018). *Modelo Nacional para la Competitividad 2018*. México D.F: IFC.

Lugones, G. E., Gutti, P., & le Clech, N. (2007). *Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina*. In *Estudios y Perspectivas*. Santiago: CEPAL.

Marín Gallego, Á., & Aguirre Loaiza, B. (2006). "Diseño de un modelo de competitividad para el renglón de la producción de muebles de madera en el Departamento del Quindío." *Revista de Investigaciones Universidad La Gran Colombia*, 109-134.

Mayenberger, C. S. (2013). El enfoque sistémico de la innovación: ventaja competitiva de las regiones. *Estudios Gerenciales*, 27-39.

Mejía-Villa, A., Alfaro Tanco, J. A., & San Martín, E. S. (2017). Análisis del proceso de capacidad de absorción en las asociaciones empresariales como intermediarias de innovación. *XXVII Congreso de ACEDE*, 1-31.

Méndez, R. (2003). Innovación y desarrollo territorial: algunos debates teóricos recientes. *Eure*, 1-32. Montañez, N. (2017). EL MODELO DE COMPETITIVIDAD AMPLIADA DE MICHAEL PORTER. *Comunicación*, 01.

Muñoz Morales, D. A. (28 de 11 de 2018). CAESCOL. Rionegro, Antioquia, Colombia.

Narváez, M., Fernández, G., & Senior, A. (Diciembre de 2008). El desarrollo local sobre la base de la asociatividad empresarial: Una propuesta estratégica. *Scielo*, 27(57), 74-92. Recuperado el 01 de 07 de 2019, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101215872008000300006&lng=es&nrm=iso

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge creating company*. New York: Oxford University.

OCDE. (1998). *Fostering Entrepreneurship*. París: Organization for Economic Cooperation and Development.

Penrose, E. (1959). *The theory of the growth of the firm*. Oxford: Basil Blackwell.

Peteraf, M. (1993). The Cornerstones of Competitive Advantage. A Resource-Based View. *Strategic Management Journal*, 14, 179-191.

Piore, M. J., & Sabel, C. F. (1984). *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity*. Nueva York: Basic Books.

Porter, M. (1980). *Competitive strategy. Techniques for analysing industries and competitor*. New York: Free Press.

Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press, New York.

PTP. (16 de 01 de 2019). *PTP*. Obtenido de PTP: <https://www.ptp.com.co/>

Quiñones, A., & Tezanos, S. (2011). Ayuda oficial al desarrollo científico tecnológico: una evaluación macroeconómica de la distribución geográfica y sectorial.

Red Estatal de Clúster. (2018). *Red Estatal de Clúster*. Obtenido de Clúster Aeronáutica de Querétaro: <https://aeroclusterqueretaro.mx/>

Restrepo Gallego, F. (2018). La dinámica de sistemas en el desarrollo regional. *Presente y Futuro del Oriente Antioqueño*. Rionegro.

Rickards, T. (1996). The management of innovation: Recasting the role of creativity. 5(1), 13-27.

Rocha Méndez, W. E., & González Alcalá, A. I. (2018). *Diagnóstico para la implementación de una normativa aeronáutica bajo la serie AS9100*. Rionegro: SENA & InnoViTech.

Sánchez Tovar, Y., García Fernández, F., & Mendoza Flores, J. E. (2015). La capacidad de innovación y su relación con el emprendimiento en las regiones de México. *Estudios Gerenciales*, 31, 243–252.

Sears, G. J., & Baba, V. V. (2011). Toward a multistage, multilevel theory of innovation. *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 28(4), 357-372.

EL FACSAT-1 PLAN PILOTO PARA INCURSIONAR EN EL DESARROLLO ESPACIAL EN LA FAC

José Martínez, Fuerza Aérea Colombiana, CITAE, Cali

Resumen

Este artículo tiene como propósito describir la serie de fases desarrolladas durante la ejecución del proyecto FACSAT-1, abordando de manera general los antecedentes, diseño, validación, registro, gestión de lanzamiento y puesta en operación del primer nanosatélite de observación de la tierra operado por la Fuerza Aérea Colombiana, experiencia que permitirá sentar bases en la institución para documentar la serie de procesos a seguir para llevar a cabo proyectos en el ámbito espacial; asimismo, se resumen las lecciones aprendidas obtenidas por el Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales durante este proceso que resulta ser el primer paso para la generación de doctrina en este campo de la ciencia y desarrollo tecnológico para la institución. Este aprendizaje será de gran utilidad para la materialización de futuros proyectos satelitales que permitan desarrollar capacidades operacionales en el corto y mediano plazo.

Palabras clave

Carga Útil, Lanzamiento Satelital, Nanosatélites, Operación Satelital, Registro Satelital

Antecedentes y fabricación FACSAT-1

La iniciativa espacial surgió por parte de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) [1], creada en julio de 2006 y encabezada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el cual ejerció la Secretaría Ejecutiva de esta comisión con el objetivo principal de lanzar un satélite de comunicaciones llamado SATCOL-1 en el año 2011; de esta manera se obtendría autonomía en el uso de servicios espaciales evitando recurrir a operadores extranjeros [2].

Paralelamente, la academia marcó para Colombia el principio de la historia espacial, cuando en el mes de abril de 2007 fue puesto en órbita desde la agencia espacial Kosmotras en Baikonour, Kazajistán, el satélite Libertad 1 [3]; esta plataforma

de un kilogramo fue diseñada, financiada y operada por la Universidad Sergio Arboleda de Bogotá. Se comprobó que transmitió más de tres mil paquetes de datos durante 34 días que duró su operación hasta agotar la energía de sus baterías, demostrando con este gran paso un alto interés científico en tecnología satelital por parte de las instituciones de educación superior.

Sin embargo, con el fin de dar continuidad al desarrollo del proyecto de la CCE, en el año 2009 se evaluaron los servicios ofrecidos por varias empresas, entre ellas una rusa y en el 2010 por una entidad china, quienes contaban con el servicio de diseño y lanzamiento de satélites, pero no hubo acuerdo entre las compañías y las condiciones que exigía el Estado y los procesos fueron declarados desiertos. Posteriormente, la secretaría de la CCE fue asumida por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) en el año 2013 [4], en donde se anunció el desarrollo de un proyecto para la creación de un nanosatélite de observación, con una vida útil de 2 a 3 años, llamado FACSAT-1, el cual pesaría aproximadamente de 3 a 5 kg, contaría con una cámara para tomar imágenes de la tierra y sería puesto en órbita en el año 2014.

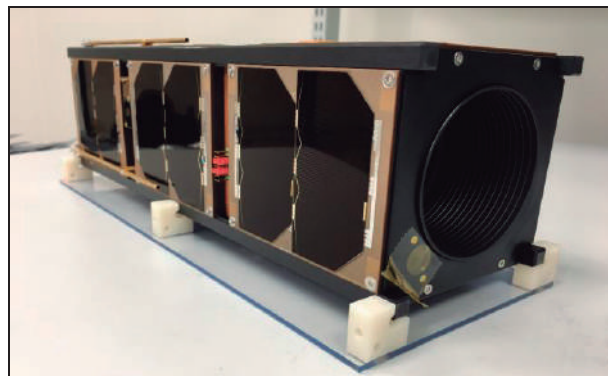


Figura 1. Satélite FACSAT-1

Con el nanosatélite la FAC le apostaba al desarrollo y empleo de capacidades espaciales propias para garantizar la autonomía tecnológica y satelital, buscando reducir la dependencia a tecnologías extranjeras y optimizando los recursos disponibles. Con algún retraso en el tiempo

programado debido a la situación social, política y financiera del país, se adquirió la plataforma satelital y su carga útil con la compañía GomSpace, de origen danés, en el mes de julio de 2014, culminando con esto la fabricación del nanosatélite [2].

Pruebas y validación

En el año 2015, se realizaron pruebas de integración al modelo de vuelo, y en el año 2016 se consiguió el apoyo económico por parte de la fuerza para su lanzamiento, desarrollando las gestiones contractuales durante el 2017 y de esta manera ser puesto en órbita. Posteriormente, el satélite en el centro Space Flight, Seattle, Estados Unidos, fue sometido a una serie de rigurosas pruebas ambientales con el fin de asegurar que el sistema estaría en la capacidad de cumplir con su propósito bajo las condiciones extremas del espacio exterior y adicionalmente minimizar al máximo el riesgo de la misión a bordo del vehículo espacial que lo llevaría a la órbita baja ubicada a 504 km sobre la superficie de la tierra; es así como en el primer semestre del año 2018 se realizaron las siguientes pruebas con el satélite previamente a la integración final del satélite en el “pod” de la nave Space Flight:

- Pruebas de dimensiones a bordo del “pod” o estructura en la que se alojaría a bordo del lanzador.
- Pruebas de vibración realizadas a 7G en compresión y 3.5 G en tensión, a 135 Hz en el eje longitudinal y +/- 2 G en el eje lateral a 70 Hz, simulando las condiciones a bordo de la nave espacial durante la fase de lanzamiento.
- Pruebas de ciclo térmico a temperaturas entre 60°C y -20°C, durante tres ciclos con una duración de 120 minutos, en la que se simula las variaciones de temperatura durante su rotación a la tierra en su exposición y ocultamiento respecto al sol.
- Pruebas de simulación de vuelo en el vacío, verificando la masa pérdida durante el ensayo que permita establecer cuanto material se evapora al ambiente a fin de verificar su integridad y niveles de contaminación por agentes no deseados.

- Pruebas de carga útil (cámara a bordo) posterior a las pruebas ambientales, en este caso se verificó la correcta operación de la cámara.



Figura 2. Prueba de ciclo térmico FACSAT-1

Capacitación y entrenamiento

Para poder llevar a cabo el desarrollo de este proyecto, se estructuró un plan de transferencia de conocimientos desde finales del año 2017, que ha contado con más de 200 horas teórico-prácticas por parte de la firma GomSpace, la Jefatura de Inteligencia de la FAC, Sequoia Space y Tecnoparque Sena. Participaron activamente a lo largo del año 2018 oficiales, suboficiales, cadetes y docentes que asistieron a los talleres y capacitaciones desarrollados; se destaca entre las entidades involucradas, la participación de los centros de investigación de la FAC, la Oficina de Asuntos Espaciales (OFAES), la Escuela Militar de Aviación (EMAVI) y las diferentes Jefaturas que componen la Fuerza, así como personal de diferentes universidades del país enfocadas en programas académicos del ámbito aeroespacial.

El objetivo principal de esta serie de capacitaciones fue el de proporcionar al personal asistente la instrucción necesaria para el aprendizaje de temáticas relacionadas con diseño, desarrollo y operación de sistemas espaciales, electrónica, operación de estaciones terrenas y el uso de software y hardware para la operación del FACSAT-1, así como el de proporcionar al grupo de alumnos de herramientas y procedimientos, información necesaria para conocer la estructura del diseño del FACSAT-2.



Figura 3. Capacitación dada por el ingeniero Iván Luna, Director de Misión proyecto Libertad 1

Adecuación de Estación terrena e infraestructura

Paralelamente a las capacitaciones y entrenamientos recibidos, se realizó la adecuación de infraestructura de la Estación Terrena en la EMAVI, la adquisición de equipos, mobiliario y la instalación de las antenas de recepción y transmisión por parte del personal de la EMAVI; adicionalmente, se entrenó en la operación del software, que funciona bajo el sistema operativo Linux, sus protocolos de conexión con el servidor que controla la comunicación del satélite y la caja de control que acciona las antenas.

Por otro lado, se adecuó la infraestructura para el desarrollo del proyecto de FACSAT-2 para permitir el proceso de integración de satélites a corto plazo, a través de la construcción de un cuarto limpio, equipado con un sistema de aire acondicionado que garantiza un ambiente de acuerdo con la norma ISO 8, que restringe una cantidad máxima de 100.000 partículas por pie cúbico de aire, temperatura y

humedad controlada (Temperatura: $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Humedad relativa: $50\% \pm 10\%$). Esta es un área de trabajo con las condiciones necesarias para desarrollar de manera segura desde el punto de vista ambiental, tareas de integración de sistemas, preparación de dispositivos necesarios para realizar ensayos y de componentes y sistemas. El cuarto de integración finalizado en el cuarto semestre de 2018 posee un área de 50 m^2 .



Figura 4. Instalación de antenas por parte de personal técnico del CITAE y cadetes de EMAVI

Registro y lanzamiento

Durante el transcurso del año 2017 y el segundo semestre del año 2018, se realizaron todas las gestiones de registro del satélite ante las entidades nacionales e internacionales. Es así como se envió notificación a la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) por parte de la OFAES, con el objetivo de registrar el satélite como colombiano [5]. Por otro lado, una vez fueron obtenidos los parámetros de lanzamiento por parte de la agencia espacial de la India, el Centro de Operaciones Espaciales JSPoC, un órgano conjunto del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, encargado de rastrear todos los objetos que orbitan la tierra, tuvo que registrar en su base de datos los

parámetros orbitales del futuro lanzamiento del FACSAT-1, para que en caso de que existiese algún riesgo de colisión, se pudiera modificar de manera oportuna el lugar y momento exacto de lanzamiento del satélite en el espacio.

Asimismo, desde el año 2017 en Colombia a través de la FAC y el Ministerio de Telecomunicaciones, se realizó el registro de la frecuencia de operación UHF ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), en este proceso generalmente diversos países realizan observaciones; para el caso particular del FACSAT, debido a que el satélite operaría en el rango de frecuencias UHF de radioaficionados y sería considerado como un satélite Amateur por estar operando en rango de radioaficionados, se debía conformar un grupo de radioaficionados en la Escuela Militar de Aviación, donde participaron oficiales, suboficiales y cadetes, lo que permitió el trámite de las licencias ante el Ministerio de Telecomunicaciones (MINTIC) y de esta manera se elevó la solicitud a la Unión Internacional de Radioaficionados (IARU), todo esto teniendo en cuenta que era un requisito mandatorio para permitir la integración del satélite a la plataforma de lanzamiento.



Figura 5. Conformación del grupo de radioaficionados de cadetes de la EMAVI

El 28 de noviembre a las 23:15 horas (hora colombiana), desde la estación terrena recientemente instalada en la EMAVI, el personal de oficiales, suboficiales, cadetes, docentes, investigadores y personal de apoyo atendieron al lanzamiento en conexión en vivo con Gomspace de Dinamarca y el

Departamento del Espacio de la India del Cohete PSLV –C43; se tuvo la presencia desde Dinamarca de representantes de la Fuerza Aérea Colombiana, así como de un equipo del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales CITAE de la FAC, quienes participaron de todo el programa de transferencia de conocimiento en la implementación de la Estación de Comando y Control del nanosatélite.

Fase LEOP

La fase posterior al lanzamiento, denominada “Launch and Early Operations” (LEOP), tuvo como propósito la ejecución de una serie de comandos e instrucciones dirigidos al satélite, teniendo como base las instalaciones del centro de operaciones de Gomspace, ubicado en Aalborg, Dinamarca, con el fin de establecer un control inicial con el satélite, estabilización y verificación de estatus para posteriormente ser entregado a la FAC mediante el uso de la estación terrena de EMAVI, se destacaron como actividades más relevantes las enunciadas a continuación:

- Contacto inicial con el satélite
- Recepción de telemetría
- Verificación de despliegue de antenas
- Estabilización del satélite en sus tres ejes
- Verificación de operación de los subsistemas
- Calibración del sistema de control de actitud

Transcurridos pocas horas posterior a su lanzamiento, el satélite reportó un estatus satisfactorio en sus subsistemas, lo cual dio inicio para la FAC a un nuevo campo de conocimiento teórico-práctico y desarrollo que facilita el desarrollo de otros proyectos de investigación derivados y por tanto la generación de doctrina aeroespacial para la institución.

Esta actividad estuvo acompañada de un entrenamiento a un personal de operadores del satélite, quienes presenciaron todas estas tareas realizadas y las dificultades a las que se enfrentan los desarrolladores de programación e ingenieros de diversas disciplinas en esta fase crítica en la cual se establece por primera vez comunicación con la plataforma y se confirma la integridad del sistema

posterior a ser eyectado de la nave espacial, fase crítica que determina el éxito o el fracaso de la misión que se proyectó tener en operación.



Figura 6. Centro de Operaciones FACSAT-1 en Dinamarca

Características Operacionales

El FACSAT-1 es un nanosatélite tipo 3U, de dimensiones 10 cm x 10 cm x 30 cm compuesto por los siguientes subsistemas:

- Estructura mecánica
- Sistema de potencia eléctrica
- Sistema Térmico
- Sistema para determinación de actitud y control
- Sistema de comando, telemetría y telecomando



Figura 7. Componentes Internos del FACSAT-1

Adicionalmente, dispone de una carga útil abordo compuesta por una cámara que posee un lente

de 70 mm, el cual permite obtener imágenes con las siguientes características:

- Relación de aspecto del lente 4:3
- Campo de vista del lente: 5.32° horizontalmente por 4° verticalmente
- Capacidad de tomar fotografías en posición NADIR (verticales) a 504 km con unas dimensiones aproximadas de 45 km por 32 km, que depende de la exactitud de apuntamiento vertical, cubriendo en promedio un área estimada de 1.440 km².
- Formato de imagen: JPG
- Resolución espacial: 30 m/píxel, fotografía de 2048 x 1536 píxeles
- Resolución espectral: 3 bandas (RGB)
- Resolución radiométrica: 256 ND

El FACSAT-1 es del tipo de órbita helio síncrona, lo que permite que una órbita pase sobre una determinada latitud terrestre a un mismo tiempo solar local. Para el caso práctico de FACSAT se tiene en promedio dos pasadas efectivas al día por la estación terrena ubicada en la EMAVI con las siguientes consideraciones:

- Una pasada se realiza entre las 09:00 y las 11:00 HL y la otra entre las 21:00 y las 23:00 HL.
- Las pasadas varían en tiempo de exposición de acuerdo con el ángulo de elevación al pasar por la Estación Terrena de la EMAVI, las cuales en total tienen un máximo de tiempo de línea de vista para la estación terrena de 20 minutos diarios en total, de los cuales 6 a 7 minutos son efectivos para efectos de comunicación con el satélite.
- El tiempo de conexión durante el pase se destina para establecer una conexión inicial, descarga de imágenes, carga de planes de vuelo, revisión de estatus y comandos de mantenimiento de la plataforma. Este último, se debe realizar como mínimo una vez cada 48 horas; sin embargo, teniendo en cuenta la experiencia obtenida al momento se realiza en cada una de las pasadas a fin de evitar fallas de comunicación en pases subsiguientes.

- El tamaño de una foto tomada con el satélite oscila entre 400 a 580 Kb y el tiempo de descarga es de 20 kb por minuto, lo que permite la descarga de una a dos imágenes semanales en promedio de acuerdo con el proceso de familiarización y operación adelantado hasta el momento.
- Asimismo, es de resaltar que se tiene la capacidad de descargar previsualizaciones de las imágenes, que tienen un tamaño aproximado de 10 kb, con el fin establecer la toma más adecuada y de esta manera emplear el limitado tiempo de conexión con el satélite descargando imágenes innecesarias o que no cumplen con los requerimientos.

Fase de Operación

Desde su lanzamiento el pasado 28 de noviembre el satélite ha atravesado por dos fases de operación: Una en la cual se dio inicio al control de la plataforma por parte de la FAC, y posteriormente, otra donde se ha iniciado una estandarización de los procedimientos al interior de la Estación Terrena, donde se han evaluado sus capacidades y monitoreado los diferentes subsistemas que posee, manteniendo un control autónomo por parte de la FAC.

Actualmente, en la EMAVI a través del CITAE se mantiene un control de comunicaciones permanente con el FACSAT-1 desde la estación de comando y control, en la cual se hace seguimiento y verificación de su operación por parte de oficiales, suboficiales y cadetes. Desde su operación inicial se viene realizando un control diario y riguroso al estatus operacional del satélite, realizando envíos de instrucciones a través de comandos encriptados y recepción de imágenes satelitales del territorio colombiano y de diferentes partes del mundo donde el satélite ha realizado sus pases; dada su características como plataforma de órbita polar; estas imágenes han sido tomadas a través de manera oblicua y vertical, y se espera en el corto plazo que el post-procesamiento de estos productos contribuya a evaluar y monitorear el territorio colombiano y diferentes aspectos de índole socio-económicos.

Asimismo, desde el punto de vista técnico, se han puesto en práctica los conocimientos adquiridos

en las capacitaciones realizadas a través de la administración del estatus de la plataforma satelital desde la estación terrena a través del análisis de los datos referentes a la administración de energía, control de actitud, recepción de datos en la frecuencia asignada y mantenimiento a los equipos de recepción en tierra con el fin de mantener las 24 horas en operación el segmento de tierra; igualmente, se ha logrado el desarrollo de la pericia necesaria en el personal de operadores integrantes del proyecto gracias a la constante operación del software de control, el cual trabaja con el sistema operativo Linux. Todos estos aspectos técnicos y operacionales relacionados con el funcionamiento del satélite y la experiencia adquirida por los operadores han permitido la generación de doctrina espacial que servirá de referencia para los desarrollos que proyecte la fuerza en el corto y mediano plazo.



Figura 8. Visualización FACSAT-1 en operación con apuntamiento vertical

Proyectos derivados

Como fase inicial del desarrollo de capacidades autónomas en ingeniería satelital, programa liderado por la Jefatura de Educación Aeronáutica para el desarrollo de nuevos proyectos derivados, la firma GomSpace ha suministrado soporte técnico a la FAC en la adecuación de instalaciones con enfoque en electrónica para el ensamble de satélites en la EMAVI. Desde el primer trimestre de 2019, se está desarrollando esta actividad con los componentes adquiridos por la FAC, con el fin de generar una transferencia de conocimientos sobre el proceso de integración de los componentes principales del nuevo prototipo FACSAT -2.

Estos primeros pasos en integración de sistemas permitirá a futuro el desarrollo en conjunto con el Tecnoparque SENA nodo Cali y con el soporte de empresa Sequoia Space desarrollar habilidades para el estudio de componentes, estructuras y funcionalidades de los nanosatélites, facilitar el desarrollo de las etapas de ingeniería básica para determinar la arquitectura acorde a la misión, elaboración de diseños detallados de componentes, validación bajo las condiciones estáticas y dinámicas propias de su operación y realizar planos de detalle de componentes, ensambles de nanosatélites y sus componentes; todo esto, con el fin de desarrollar un programa de ingeniería reversa con los modelos de ingeniería que se tienen de la firma GomSpace y Pumpkin que se encuentran en el laboratorio de electrónica del CITAE.



Figura 9. Taller de Integración de componentes satelitales

Asimismo, como parte de las actividades derivadas de este proyecto de investigación satelital, se tiene como visión la explotación de los productos entregados por el satélite, para lo cual se estructuró el proyecto denominado: “Detección de patrones de minería ilegal a cielo abierto usando redes neuronales profundas aplicadas a imágenes satelitales del FACSAT-1”, que busca la implementación de una solución de inteligencia artificial, particularmente de redes neuronales profundas, para el tratamiento de las imágenes satelitales recolectadas por el FACSAT -1, orientadas a la identificación de patrones que ayuden a detectar cambios en la vegetación a cielo abierto como resultado de la minería ilegal en zonas rurales del país.

En el ámbito de operación satelital, y teniendo en cuenta la naturaleza de operación y características del FACSAT-1, se formuló en conjunto con la Comisión Colombiana del Océano el proyecto denominado: “Comunicaciones satelitales de la FAC en la Antártica”, que se presenta como una solución a las deficiencias de comunicación presentadas entre el FACSAT-1 y su estación terrena, debido a la baja velocidad de descarga de datos lograda con la banda UHF, atenuada por las condiciones meteorológicas, el limitado número de pases del satélite sobre la estación de Colombia y el tiempo de conexión de solo dos veces por día durante 10 minutos, la cual podría ser mejorada con la instalación de una estación terrena en la Antártica gracias al incremento del número de pases de aproximadamente 15 por día debido a la posición austral que resulta altamente estratégica para la operación satelital en órbitas polares.

Como parte del programa de fortalecimiento de las actividades de formación del recurso humano de la Fuerza, en estos proyectos se vinculará personal especializado en diversas disciplinas, que se complementará con la incorporación de oficiales de la EMAVI y del CITAE en estudios de Doctorado, quienes liderarán el avance de estas actividades de investigación aplicada.

Proyección a futuro

Se estima una vida útil de 3 a 5 años la operación del FACSAT-1 para la cual una vez terminada su fase de estandarización de procedimientos, se iniciará una fase de oferta de productos para incorporarlos al desarrollo de actividades de investigación derivadas del proyecto macro, actividades formativas con los cadetes de la EMAVI, y aplicada con los aliados externos y liderados por investigadores del CITAE.

La institución en pro del fortalecimiento y avances tecnológicos, apoyada con el mejor talento humano para liderar el poder aeroespacial y en la defensa de la nación; y en marco del Programa de desarrollo de plataformas satelitales FACSAT, formuló el proyecto Estudio para el Desarrollo de sensores satelitales FACSAT-2, que consiste en el co-diseño, codesarrollo y lanzamiento de un nuevo nanosatélite; con base en la transferencia de tecnología, apropiación de lecciones aprendidas y generación de doctrina espacial a través del proyecto

FACSAT-1 donde se ha adquirido el criterio para mejorar los requerimientos de diseño, fabricación, prueba y operación. Este proyecto comprende el diseño, manufactura, ensayo y operación de un nanosatélite 6U para observación de la Tierra con prestaciones superiores que permitirá obtener imágenes con diversidad de utilidades.

La tercera fase del programa, que es el objetivo propuesto a mediano plazo, estará compuesto por una constelación de satélites, con diversas aplicaciones y con la visión de ser integrados en Colombia en los laboratorios de la Fuerza Aérea, en la cual las fases de análisis de factibilidad, gestión y gerencia de proyectos, diseño de misión, registro satelital, asignación de frecuencia, contrato de lanzamiento, ingeniería de sistemas, pruebas de validación, lanzamiento y operaciones sea mayoritariamente ejecutado por personal de planta de la FAC.

Lecciones Aprendidas

Grandes lecciones se han obtenido en los últimos 10 meses posteriores al lanzamiento que han optimizado la efectividad de la operación satelital y permitir una operación continua del sistema FACSAT-1 como a continuación se relacionan.

- Los entrenamientos recibidos durante la fase LEOP permitieron conocer de manera directa la metodología de operación satelital por parte de los ingenieros y operadores de Gomspace a partir del lanzamiento del FACSAT-1, conociendo y documentando las coordinaciones logísticas, adecuación de instalaciones que sirven como base de centro de operaciones y herramientas informáticas requeridas para tal actividad.
- Las visitas a los laboratorios instalados en el centro de operaciones de Aalborg, Dinamarca, bancos de prueba y locaciones administrativas sirvieron como modelo de referencia para poner a punto los laboratorios del CITAE.
- Se han desarrollado instructivos metodológicos para facilitar la comprensión de la operación diaria del sistema satelital orientado a los operadores de la estación terrena.

- Se desarrolló el manual de operaciones en su primera versión, el cual se encuentra en constante actualización adicionando nuevos protocolos de programación para un efectivo planeamiento de las operaciones satelitales que se desarrollan a diario.
- Se identificaron una serie de componentes denominados “repuestos calientes” para la estación terrena y cuarto de control con el fin de disponer de un “stock” que permita reemplazar los componentes que fallen en el menor tiempo posible y solucionar fallas que puedan afectar la operación de la estación de la EMAVI.
- Se implementó un canal de comunicación a través de los canales de comunicación institucionales acerca de la información general del FACSAT-1 con el fin de mantener informado al grupo de radioaficionados, grupos de investigación y universidades permitiendo que puedan realizar un seguimiento permanente a éste.
- Se implementó la asignación permanente de un operador Estación terrena para el CITAE, quien controla la operación diaria del satélite teniendo en cuenta la constante supervisión del cuarto de control y sus equipos, chequeo de operación normal de subsistemas, toma de fotografías y descargas.

Conclusiones y recomendaciones

El FACSAT-1 ha sido el resultado de grandes esfuerzos por parte de múltiples entidades, que vieron materializado después de 12 años el lanzamiento del primer satélite de la FAC y el único en operación actual en Colombia. Su diseño, validación, gestión de registro y lanzamiento, así como la puesta en operación ha generado un nuevo campo de desarrollo sobre el tema espacial del país en cuanto a mecánica orbital, misiones espaciales, ingeniería de sistemas, sensoramiento remoto, uso de software satelital, entre otros tópicos, lo que permite adquirir capacidades en ciencia y tecnología para generar nuevo conocimiento, desarrollando doctrina de operación y mantenimiento de satélites en órbita, no sólo desde el punto de la misión del mismo, sino además de los subsistemas técnicos que lo conforman. Las

siguientes recomendaciones se deben contemplar para futuros proyectos que permitan ofrecer óptimas capacidades operacionales para la fuerza, desarrollo y capacitación del talento humano:

- Se recomienda analizar el costo-beneficio de futuros proyectos satelitales para lanzamientos en órbitas inclinadas (entre 10° a 30°) que favorezcan el número de pases diarios por estaciones terrenas en Colombia, teniendo en cuenta la ubicación geoestratégica del territorio nacional sobre el ecuador.
- Se debe realizar una planificación para la instalación de estaciones terrenas considerando que la topografía (montañas altas) limita el tiempo de comunicación con el satélite, reduciendo los tiempos de descarga de información.
- Se debe contemplar el uso de frecuencia para transferencia de archivos e imágenes en la banda S o X, las cuales operan en la gama de 2 a 4 GHz y 8 a 12 GHz respectivamente, permitiendo una transmisión en el rango de megabytes por segundo.
- Se deben implementar curso de inducción para la operación del satélite en el corto plazo con el fin de que el personal que integre en el futuro el CITAE pueda asumir las funciones como operador del sistema.
- Se debe implementar módulos de Linux-Ubuntu en el programa de Ingeniería Informática de la EMAVI para potenciar en los cadetes de la Escuela las capacidades de uso y programación que se desarrollan en este lenguaje para el FACSAT-1 y futuros sistemas satelitales, el cual requiere de un conocimiento en profundidad para el desarrollo de actividades de investigación que permita en el futuro obtener capacidades autónomas en la Fuerza.
- Se debe implementar en el mediano plazo un módulo de sistemas satelitales para el programa de Ingeniería Mecánica y un curso de programación de sistemas satelitales que tenga como prerrequisito el curso de manejo de Linux, lo cual permitirá fortalecer la calidad de los programas académicos de la EMAVI.

Referencias

- [1] *Creación de la Comisión Colombiana del espacio*, P. d. I. R. d. Colombia, 2006.
- [2] J. Urbina, "El espacio, futuro de la Fuerza Aérea Colombiana," *CIENCIA Y PODER AÉREO*, vol. 12, pp. 202-208, 2015.
- [3] U. S. Arboleda. (2008, 27/06/2019). *Satélite Libertad 1*.
- [4] Webinfomil. (2018, 27/06/2019). *FACSAT-1, el primer satélite de la Fuerza Aérea, estará en órbita antes de mitad de año*. Available: <http://www.webinfomil.com/2018/02/facsat-1-el-primer-satelite-de-la.html>
- [5] UNOOSA. (2019). *United Nations Register of Objects Launched into Outer Space*. Available: <http://www.unoosa.org/oosa/en/spaceobjectregister/index.html>

2do Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico
Octubre 25, 2019



Centro de Estudios Aeronáuticos CEA Avenida El Dorado # 103-23 Bogotá D.C

<http://www.aerocivil.gov.co/cea>

www.aerocivil.gov.co/cea

Universidad ECCI Carrera 19 # 49-20 Sede Ppal. Bogotá D.C

www.ecci.edu.co