

La I+D+i una oportunidad  
para el desarrollo productivo  
y social de los sectores  
económicos del país

Centro de Estudios Aeronáuticos CEA  
Universidad ECCI

<https://www.ecci.edu.co/publicaciones/>

**ISBN. 978-958-8817-53-8**

<http://dx.doi.org/10.18180/libroECCLISBN.978-958-8817-47-7>

Editorial Universidad ECCI

Bogotá D.C. Colombia.

Edición 1

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.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los  
sectores económicos del país



## CONTENIDO

Contenido .....	5
Ilustraciones .....	14
Tablas .....	20
Prólogo.....	22
Sección 1.....	26
Resultados de Investigación en el Sector Aeronáutico civil. ....	26
Capítulo 1.....	26
Marco Nacional de Cualificaciones, un instrumento para alinear el sistema educativo con las necesidades del sector productivo y promover el desarrollo del talento humano Una mirada hacia el sector de la aviación .....	26
Resumen .....	27
Introducción.....	28
Antecedentes del Marco Nacional de Cualificaciones.....	29
Marco Nacional de Cualificaciones y sus concepciones .....	33
Experiencias internacionales del Marco Nacional de Cualificaciones .....	36
Contexto del Marco Nacional de Cualificaciones en Colombia.....	39
Antecedentes de la construcción del Marco Nacional de Cualificaciones para el sector aeronáutico en Colombia .....	46
Plan piloto sector de aviación de Estado 2016 .....	46
Proyecto Marco Nacional de Cualificaciones de la Aviación Civil .....	47
Referencias.....	54
Capítulo 2.....	58
Centros de I+D+I en Colombia y en el sector aeronáutico .....	58
Resumen .....	58
Introducción.....	59

Marco Teórico .....	60
Centro de Investigación.....	62
Centros de Ciencia.....	63
Centros de Desarrollo tecnológico (CDT).....	63
Metodología .....	66
Resultados.....	67
Conclusiones .....	70
Referencias .....	70
Capítulo 3.....	74
Desarrollo arquitectural de un módulo de visualización del estado operacional de la infraestructura de sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) para el apoyo en la toma de decisiones en colaboración (CDM) .....	74
Introducción.....	74
Surge la necesidad .....	78
Marco teórico.....	79
Sistemas de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS)...	79
Herramientas de visualización geográfica para aviación .....	85
Sistemas de información SIGMA- SIA/AIM.....	86
Toma de decisiones en colaboración (CDM) .....	87
Diseño de la investigación .....	89
Tipo de estudio.....	89
Metodología .....	89
Estrategia .....	89
ADM .....	92
Modelo de Proceso .....	92
Implementación.....	103
Conclusiones .....	104
Referencias .....	105
Sección 2 .....	106

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Resultados de Investigación en el Sector Aeronáutico Militar.....	106
Capítulo 4.....	106
Papel de los Encadenamientos Productivos para el Desarrollo de la Industria Aeronáutica Colombiana.....	106
Resumen .....	106
Antecedentes.....	107
Marco Referencial.....	108
Los Encadenamientos Productivos .....	108
Modalidades del encadenamiento productivo.....	111
Etapas en el desarrollo del encadenamiento productivo .....	111
Política de desarrollo Productivo .....	112
Determinantes de la Productividad.....	114
Encadenamientos productivos en la industria aeronáutica colombiana.....	115
Diseño Metodológico.....	118
Resultados.....	118
Discusión y Conclusiones.....	123
Referencias .....	125
Capítulo 5.....	128
Desarrollo de un Módulo ADS-B para Un Sistema UAV en el Aeródromo Guabito De La Fuerza Aérea Colombiana .....	128
Resumen .....	128
Abstract.....	129
Introducción.....	129
Referentes Teóricos .....	130
Materiales y Métodos.....	138
Resultados y Discusión .....	142
Conclusiones .....	147
Referencias .....	148
Capítulo 6.....	152

Estudio Prospectivo para el Diseño de una Hoja de Ruta al Año 2030  
para el Desarrollo e Piezas Aeronáuticas de Fabricación Local en la  
Aviación de Instrucción Primaria de la Fuerza Aérea Colombiana .... 152

Resumen ..... 152

Abstract..... 153

Introducción..... 153

Método..... 155

Resultados..... 156

Identificación de las variables clave y los actores que afectan el  
desarrollo de componentes para la aviación de instrucción primaria en  
la industria local. .... 156

Determinación de las herramientas prospectivas que permitan el  
desarrollo de la hoja de ruta para construir los escenarios más  
probables..... 160

Matriz DOFA ..... 161

Herramienta MICMAC..... 161

Descripción de las variables. .... 163

Ambivalencia entre actores. .... 164

Relación de los actores con los objetivos. .... 164

Relación entre los actores de tercer grado..... 165

Herramienta: SMIC..... 165

Probabilidades simples..... 168

Probabilidades condicionales positivas herramienta SMIC..... 168

Probabilidades condicionales negativas herramienta SMIC ..... 168

Herramienta IGO ..... 171

Plano IGO escenario Tendencial..... 171

Plano IGO escenario Apuesta ..... 172

Establecimiento de los objetivos a corto y mediano plazo de la hoja  
de ruta de componentes a desarrollar ..... 174

Conclusiones..... 175

Referencias ..... 176



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Capítulo 7.....	178
Identificación del Clúster Aeronáutico Dosquebradas y Valle del Cauca.....	178
Resumen .....	178
Abstract.....	178
Caracterización técnica clúster aeronáutico Dos quebradas.....	179
Productos aeronáuticos certificados .....	185
Caracterización técnica clúster aeronáutico del Valle del Cauca .....	187
Productos aeronáuticos certificados .....	193
Conclusión.....	195
Referencias .....	196
Capítulo 8.....	198
Efectos de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Orinoco (OLLJ) sobre las Operaciones Aéreas.....	198
Resumen .....	198
Abstract.....	199
Efectos de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Orinoco (OLLJ) sobre las Operaciones Aéreas .....	200
Reducción Dinámica y Configuración del Modelo WRF .....	203
Características y Evolución.....	205
Estructura y Variabilidad Espacial .....	206
Variabilidad Temporal.....	207
Verano Austral.....	207
Ciclo diurno .....	207
Mecanismos de Formación .....	208
Impacto en las Operaciones Aéreas .....	209
Conclusiones .....	211
Bibliografía .....	213
Capítulo 9.....	227

Revisión conceptual y diseño del instrumento de clima organizacional para la Fuerza Aérea Colombiana .....	227
Resumen .....	227
Introducción.....	228
Referente teórico.....	229
Dimensiones del clima laboral .....	232
Clima organizacional en la Fuerza Aérea Colombiana .....	235
Presentación resultados de clima organizacional 2019 .....	237
Metodología .....	237
Resultados.....	238
Etapa 1. Revisión documental .....	238
Comprensión conceptual de clima organizacional para la FAC. .....	239
Revisión de dimensiones por medir en clima organizacional ...	240
Fase 2. Diseño de la herramienta .....	241
Etapa 2. Diseño de la herramienta.....	242
Aplicación matriz de impactos cruzados - multiplicación aplicada a una clasificación .....	243
Definición de sistemas, dimensiones, indicadores e ítems .....	244
Sistema interpersonal.....	245
Sistema individual.....	245
Sistema organizacional .....	245
Fase 3: Análisis de las propiedades métricas del instrumento...	246
Validez de contenido .....	247
Confiabilidad del instrumento en términos de consistencia interna .....	249
Confiabilidad y validez de los ítems.....	252
Conclusiones .....	254
Referencias .....	255
Capítulo 10 .....	258

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Integración de Tecnologías Satelitales y Convencionales para el Servicio de Vigilancia Aérea en Colombia .....	258
Resumen .....	258
Abstract.....	259
Introducción.....	259
1. Revisión Bibliográfica. ....	260
1.1 VHF Data Link to air traffic services in Colombia. ....	260
1.2 Results of a VDL2 simulation in El Dorado.....	261
1.3 Apropiación y uso tecnologías ADS-B en el CETAD.....	261
1.4 ADS-B en Colombia.....	261
1.5 Consideraciones para la implementación del ADS-B en Colombia.....	261
1.6 Cobertura y desempeño de estaciones ADS-B, para su implementación en Colombia.....	262
2. Metodología.....	262
2.1 Los Servicios ANS.....	262
2.2 La vigilancia con sistemas convencionales RADAR.....	264
2.3 Vigilancia Aérea en el Plan de Navegación Aérea PNA-COL	265
2.4 ADS-B Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	266
2.5. Multilateración (MLAT).....	266
2.6.1. Sistemas de posicionamiento global .....	268
2.6.2. Comunicaciones satelitales .....	270
a. Intelsat.....	270
b. Iridium.....	271
2.7 El Espacio Aéreo de Colombia.....	272
3. Resultados. ....	272
3.1 Propuesta para el uso de nuevas tecnologías de vigilancia aérea en Colombia .....	272

4. Conclusiones.....	275
Referencias .....	277
Sección 3 .....	281
Resultados Investigación en el Sector Industrial. ECCI.....	281
Capítulo 11 .....	281
Panorama del manejo de residuos poliméricos en Colombia y una alternativa de aprovechamiento del polipropileno reciclado .....	281
Resumen .....	281
Abstract.....	282
Introducción.....	282
2. Revisión de literatura.....	283
2.1 Los residuos de los materiales poliméricos .....	283
Metodología .....	285
Etapa 1 Análisis del panorama del manejo de residuos poliméricos en Colombia y Bogotá. ....	285
Etapa 2 Una alternativa para reprocesar un residuo sólido polimérico (polipropileno reciclado PP).....	285
4. Discusión.....	288
Análisis del panorama del manejo de residuos poliméricos en Colombia.....	288
Análisis del panorama del manejo de residuos poliméricos en Bogotá.....	289
Reproceso de un residuo sólido polimérico (polipropileno PP) .....	289
Conclusiones.....	293
6. Bibliografía.....	293
Capítulo 12 .....	296
Capital Social como Agente Incidente en el Desarrollo Empresarial	296
Resumen .....	296
Social capital as an incident agent in business development .....	297
Abstract.....	297

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los  
sectores económicos del país

Introducción.....	297
Fundamento teórico .....	298
Metodología .....	300
Resultados.....	301
Correlaciones Bivariados .....	304
Conclusiones .....	305
Referencias .....	306

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Elaboración equipo técnico MNC/MEN.....	32
Ilustración 2 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN. ....	41
Ilustración 3 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN. ....	42
Ilustración 4 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN. ....	45
Ilustración 5 Elaboración CEA. ....	46
Ilustración 6 Ministerio de Educación Nacional. ....	47
Ilustración 7 Elaboración CEA. ....	50
Ilustración 8 Equipo Técnico MNC/MEN – CEA.....	52
Ilustración 9 Elaboración CEA. ....	53
Ilustración 10 Elaboración CEA. ....	53
Ilustración 11 Elaboración equipo técnico MNC/MEN – CEA. ....	54
Ilustración 12 Objetivos institucionales Plan de Navegación Aérea para Colombia-2019. ....	61
Ilustración 13 Orientación Técnica Plan de Navegación Aérea para Colombia. ....	61
Ilustración 14 Minciencias. <a href="https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores">https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores</a> . Elaboración propia. ....	68
Ilustración 15 Minciencias. Elaboración propia. ....	68
Ilustración 16 Funcionamiento actual de los sistemas de información, autoría propia.....	78
Ilustración 17 Sistema ILS. Internet. ....	81
Ilustración 18 Funcionamiento del Radar SSR. Fuente: (CREATIVERGE,2007). ....	83
Ilustración 19 Funcionamiento del ADS-B. Fuente: (CREATIVERGE, 2007).....	84
Ilustración 20 Funcionamiento del MLAT. Fuente:(CREATIVERGE, 2007).....	84
Ilustración 21 Funcionamiento del MLAT. (Barajas & Vidal, 2010) ...	87
Ilustración 22 Escenario de coordinación compartida para el proceso de toma de decisiones en colaboración (CDM). Fuente: (OACI, 2010). ....	88
Ilustración 23 Estrategia para el desarrollo. Fuente: Elaboración propia. ....	89
Ilustración 24 Elaboración propia. ....	91
Ilustración 25 Participantes. Fuente: Elaboración propia. ....	91
Ilustración 26 Punto de vista de organización. Fuente: Elaboración propia. ....	93

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Ilustración 27 Punto de vista de organización. Fuente: Elaboración propia.....	93
Ilustración 28 Punto de vista de producto. Fuente: Elaboración propia.....	94
Ilustración 29 Punto de vista de comportamiento de aplicación. Fuente: Elaboración propia.....	95
Ilustración 30 Punto de vista de estructura de aplicación. Fuente: Elaboración propia.....	95
Ilustración 31 Punto de vista de realización del servicio. Fuente: Elaboración propia.....	96
Ilustración 32 Punto de vista de infraestructura. Fuente: Elaboración propia.....	97
Ilustración 33 Punto de vista uso de infraestructura.....	97
Ilustración 34 Punto de vista de estructura de la información.....	98
Ilustración 35 Punto de vista de stakeholder. Fuente: Elaboración propia.....	99
Ilustración 36 Punto de vista de realización de objetivos.....	99
Ilustración 37 Punto de vista contribución de objetivos.....	100
Ilustración 38 Punto de vista de proyecto.....	101
Ilustración 39 Punto de vista de migración.....	101
Ilustración 40 Punto de vista de proyecto y migración.....	102
Ilustración 41 Fragmento de código.....	103
Ilustración 42 Fragmento de código.....	103
Ilustración 43 Pantalla inicial del aplicativo.....	104
Ilustración 44 Encadenamiento Productivo. Fuente: Elaboración propia.....	112
Ilustración 45 Determinantes de la productividad. Fuente: DNP (2016, pág. 23).....	114
Ilustración 46– Importancia de la Identificación de la demanda de Productos y servicios del sector aeronáutico colombiano. Fuente: Elaboración propia.....	119
Ilustración 47 Importancia de la mejora y visibilización de los procesos de planeación de compras del sector público aeronáutico. Fuente: Elaboración propia.....	119
Ilustración 48 Importancia del diseño de estrategias y mecanismos de contratación pública que garanticen el flujo adecuado y oportuno de 45 bienes y servicios al sector público aeronáutico. Fuente: Elaboración propia.....	120

Ilustración 49 Importancia de la promoción y fortalecimiento de la certificación de proveedores en las normativas requeridas globalmente. Fuente: Elaboración propia. ....	120
Ilustración 50 Importancia de homologar el cumplimiento de las normas ambientales a nivel mundial para la producción nacional. Fuente: Elaboración propia. ....	121
Ilustración 51 Importancia de fomentar alianzas en el sector que promuevan precios competitivos para los proveedores locales. Fuente: Elaboración propia. ....	122
Ilustración 52 Importancia del desarrollo de planes de integración en el sector que permitan controlar costos de fabricación, insumos y riesgos en la cadena de suministro. Fuente: Elaboración propia. ....	122
Ilustración 53 Importancia de potenciar la producción destinada a la inserción en las cadenas globales. Fuente: Elaboración propia. ....	123
Ilustración 54 Priorización de acciones de política pública en Encadenamientos Productivos. Fuente: Elaboración propia. ....	124
Ilustración 55 Avance en desarrollo de acciones de política pública encadenamientos productivos. Fuente: Elaboración propia. ....	125
Ilustración 56 Tramas ADS-B sin procesar. Fuente: Uso y apropiación de tecnologías ADS-B en el CETAD. (Florez Zuluaga, 2014). ....	131
Ilustración 57 Características mensaje ADS-B. Fuente: Figura extraída de la Norma DO-260B, (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009). ....	135
Ilustración 58 Avance Modelos UAV. Fuente: (Cuerno Rejado, Garcia Hernandez, Sanchez Carmon, Sanchez Lopez, & Campoy Cervera, 2016). ....	136
Ilustración 59 Condiciones de vuelo de un sistema UAV. Fuente: Imagen tomada de: A look inside the DJI GO App, Alan Philips, septiembre 15 de 2015, en <a href="https://dronelife.com/2015/09/15/a-look-inside-the-dji-go-app/">https://dronelife.com/2015/09/15/a-look-inside-the-dji-go-app/</a> . ....	137
Ilustración 60 Etapas de desarrollo. Fuente: Elaboración de los autores. ....	139
Ilustración 61 Arquitectura del dispositivo de transmisión. Fuente: Elaboración propia. ....	145
Ilustración 62 Algoritmo para conformación de Squitters. Fuente: Elaboración propia. ....	146
Ilustración 63 Codificación posición, formato CPR. Fuente: Elaboración propia. ....	147
Ilustración 64 Plano Cartesiano de importancia y gobernabilidad del escenario Apuesta. Fuente: Elaboración propia. ....	173
Ilustración 65 Hoja de ruta FAC. Fuente: Elaboración propia. ....	173



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Ilustración 66 Visualización de la priorización de la cadena de valor. Fuente: Autor (2019).....	181
Ilustración 67 Distribución grupos de investigación por categorías Fuente: Minciencias (2020). Serie históricas grupos de investigación reconocidos por categoría. La ciencia en cifras.....	183
Ilustración 68 Actores clúster Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia (2019).....	188
Ilustración 69 Actividad de vinculación Sector aeronáutico. Fuente: Autor (2019). .....	190
Ilustración 70 Ecuación 1 y 2.....	205
Ilustración 71 Vector de trayectoria de vuelo resultante (R) debido a la cizalladura del viento horizontal.....	220
Ilustración 72 Mapa topográfico del norte de Suramérica.....	221
Ilustración 73 Frecuencia de ocurrencia de la OLLJ (Nov 2013–Mar 2014. Nota. Los contornos indican el número de días dentro del periodo de estudio donde se identificó el cumplimiento de todos los criterios durante al menos 6 horas del día). .....	221
Ilustración 74 Caracterización horizontal y vertical del campo medio del viento de la OLLJ. Nota. (a) Vectores de velocidad e intensidad media del viento (en colores, m/s) en la capa de 950 a 800 hPa, y secciones verticales de la intensidad media del viento a los (b) 1,5°N, (c) 5°N y (d) 64°W. Las ubicaciones principales de los núcleos se indican en negrita (C1–C4) y los límites para cada sección vertical en (b)–(d) se muestran con líneas discontinuas azules (P, Q, R) en (a). El campo medio del viento se obtuvo promediando el vector de velocidad del viento para todas las horas a lo largo del periodo de estudio, y luego promediando su resultado para la capa entre 950 hPa y 800 hPa. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019). .....	222
Ilustración 75 Comportamiento de la OLLJ durante el verano austral. Nota. Se muestra en 3-D la topografía del norte de Suramérica y la intensidad media mensual del viento en tubos de corriente de 9 m/s (azul claro), 12 m/s (magenta) y 14 m/s (amarillo) durante (a) noviembre, (b) diciembre, (c) enero, (d) febrero, y (e) marzo. Los vectores de viento a 900 m AGL se visualizan en rojo. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019). .....	223
Ilustración 76 Evolución diurna de la OLLJ. Nota. Se muestra en 3-D la topografía del norte de Suramérica y la intensidad media horaria del viento (Nov 2013–Mar 2014) en tubos de corriente de 9 m/s (azul claro), 12 m/s (magenta) y 14 m/s (amarillo) a las (a) 1900 HL, (b) 2300 HL, (c) 0300 HL, (d) 0700 HL, (e) 1100 HL, y (f) 1500 HL. Los vectores de viento	

a 900 m AGL se visualizan en rojo. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019).	224
Ilustración 77 Ciclo diario de las componentes del balance de momento promedio en la dirección del flujo. Nota. Balance horario del momento en la capa de 950 a 800 hPa durante noviembre de 2013 a marzo de 2014, obtenido al promediar un área de 45 km × 45 km en la ubicación de la velocidad máxima del viento en el sentido del flujo a lo largo de (a) 64°W ( <b>C1</b> ), (b) 66,9°W ( <b>C2</b> ), (c) 5°N ( <b>C3</b> ) y (d) 1,5°N ( <b>C4</b> ).	225
Ilustración 78 Localización de los cuatro mecanismos causantes de la OLLJ. Nota. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2020).	226
Ilustración 79 Ciclo diario de la cizalladura del viento promedio entre los 2.100 ft y los 300 ft AGL (Nov 2013-Mar 2014). Nota. Las flechas indican la dirección de la cizalladura resultante (vector) entre el viento horizontal a 2.100 ft y el viento horizontal a 300 ft a las a) 0700 HL, (b) 1100 HL, (c) 1500 HL, (d) 1900 HL, (e) 2300 HL, y (f) 0300 HL. En colores se muestra la tasa de cambio en la intensidad del viento en nudos por cada 100 pies (Kt/100 ft).	226
Ilustración 80 Tendencia de Clima Organizacional 2010-2019.	237
Ilustración 81 Esquema metodológico componente conceptual clima organizacional. Fuente: elaboración propia.	238
Ilustración 82 Esquema de interacción factores influyentes del clima organización. Fuente: elaboración propia.	240
Ilustración 83 Matriz de influencia y dependencia MIC-MAC. Fuente: programa MIC-MAC.	244
Ilustración 84 Sistema de análisis del Clima organizacional de la FAC. Fuente: Elaboración propia.	245
Ilustración 85 Fórmula.	251
Ilustración 86 Crecimiento en las operaciones aéreas (Salazar Gómez, 2018).	263
Ilustración 87 Vuelos nacionales e internacionales (Gómez, 2019) ...	263
Ilustración 88 Contexto de los servicios ANS	264
Ilustración 89 Estación Radar El Tablazo	265
Ilustración 90 Concepto MLAT (ICAO, 2020).	267
Ilustración 91 Rutas de salida (azules) y llegada (rojas) Aeropuerto Eldorado (Aerocivil, 2017)	274
Ilustración 92 Esfuerzo de fluencia para el PP y sus diferentes combinaciones con fibra de	289
Ilustración 93 Esfuerzo de fluencia para el PP y sus diferentes combinaciones con fibra de fique.	290

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Ilustración 94 Microestructuras de PP reforzado con fibra de fique con los diferentes tratamientos químicos, imágenes tomadas por SEM a 430 x. PPr (Matriz de polipropileno).....	291
Ilustración 95 Microestructuras de PP. Imágenes tomadas por SEM a 430 X.....	292
Ilustración 97 Indicador capital social cognitivo. Fuente: elaboración propia.....	301
Ilustración 98 Indicador de la frecuencia del capital social cognitivo. Fuente: elaboración propia.....	302
Ilustración 99 Indicador del capital social estructural. Fuente: elaboración propia.....	302
Ilustración 100 Indicador de la frecuencia del capital social estructural. Fuente: elaboración propia.....	303
Ilustración 101 Indicador del capital social de productividad y sociedad. Fuente: elaboración propia.....	303
Ilustración 102 Indicador de la frecuencia de productividad y sociedad. Fuente: elaboración propia.....	304
Ilustración 103 Matriz de dispersión que representa el capital social. Fuente: elaboración propia.....	305

## TABLAS

Tabla 1 Esquema Matriz documental. Elaboración propia de los autores.....	67
Tabla 2 Centros de Investigación públicos del sector Aeronáutico. (Fuerza Aérea Colombiana, 2016) & (Ejército Nacional, 2020). Elaboración propia. ....	69
Tabla 3 Componentes Archimate, Architecture Development Method (ADM) .....	90
Tabla 4 Campos trama ADS-B y composición. Fuente: Tabla extraída de la Norma DO-260B (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).....	132
Tabla 5 Asignación de Bits trama ADS-B. Fuente: Los autores, basado en la Norma DO-260B (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).....	133
Tabla 6 Subcampos en el campo ME. Fuente: Tabla extraída de la norma DO-260B, (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009). .....	134
Tabla 7 Rango de frecuencias en Colombia. Fuente: Tabla de atribución de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, Agencia Nacional del Espectro, Colombia, S.F. ....	138
Tabla 8 Comparación tarjetas de desarrollo. ....	143
Tabla 9 Comparación tarjetas GPS. Fuente: Elaboración propia. ....	144
Tabla 10 Comparación barómetro digital. Fuente: Elaboración propia. ....	145
Tabla 11 Matriz DOFA. Fuente: Elaboración propia. ....	157
Tabla 12 Descripción de variables de Sistema de Ciencia y Tecnología de la FAC. Fuente: Elaboración propia. ....	163
Tabla 13 Hipótesis de la Herramienta SMIC. Fuente: Elaboración propia. ....	167
Tabla 14 Escenarios Tendencial/Apuesta. Fuente: Elaboración propia. ....	169
Tabla 15 Importancia y Gobernabilidad de las acciones propuestas del escenario tendencial. Fuente: Elaboración propia con base en Cortés, Delgado, Salazar (2016). ....	171
Tabla 16 Acciones con alta importancia y gobernabilidad del escenario Tendencial. Fuente: Elaboración propia.....	172
Tabla 17 Acciones con alta importancia y baja gobernabilidad del escenario Tendencial. Fuente: Elaboración propia.....	172

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Tabla 18 Acciones con alta importancia y baja gobernabilidad del escenario Apuesta. Fuente: Elaboración propia. ....	172
Tabla 19 Acciones con alta importancia y baja gobernabilidad del escenario Apuesta. Fuente: Elaboración propia. ....	173
Tabla 20 Configuración básica del modelo WRF-ARW. ....	220
Tabla 21 Mapa topográfico del norte de Suramérica. Nota. El dominio del modelo numérico de predicción del tiempo Weather Research and Forecasting (WRF) corresponde al área en colores, la línea roja muestra los límites de la cuenca del Río Orinoco, y se indica la ubicación de los principales aeródromos a lo largo del corredor de la OLLJ. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019). ....	221
Tabla 22 Instrumentos y evaluaciones clima organizacional. Elaborado por Vega (2012). ....	234
Tabla 23 Tipo de herramientas. Fuente: elaboración propia. ....	235
Tabla 24 Dimensiones del clima organizacional según autores. Fuente. Elaboración Propia. ....	241
Tabla 25 Categorización de las dimensiones. Fuente: elaboración propia. ....	242
Tabla 26 Dimensión de las variables. Fuente: elaboración propia. ....	244
Tabla 27 Evaluación de indicadores de confiabilidad y validez. Fuente: elaboración propia. ....	246
Tabla 28 Criterios de evaluación. Fuente: elaboración propia. ....	247
Tabla 29 Evaluación de expertos. Fuente: elaboración propia. ....	248
Tabla 30 Evolución del modelo de evaluación. Fuente: elaboración propia. ....	249
Tabla 31 Resultados con alfa ordinal. ....	251
Tabla 32 Propuesta criterio de discriminación. ....	253
Tabla 33 Índices de confiabilidad. Fuente: elaboración propia. ....	254
Tabla 34 Resumen de polímeros potencialmente reutilizables. ....	284
Tabla 35 Las condiciones de tratamiento de fibra de fique y el conformado del material. ....	287
Tabla 36 Resultados del índice de fluidez para el polipropileno reciclado. ....	292
Tabla 37 Resultados estadísticos de los tipos de capital social. Fuente: elaboración propia. ....	301
Tabla 38 Matriz de correlaciones. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Fuente: elaboración propia. ....	304

# PRÓLOGO

A pesar de las dificultades en las que nos hemos visto envueltos por la pandemia mundial desatada por el Covid-19, el cual ha cambiado las dinámicas tanto del trabajo académico como el de la investigación. Hoy podemos decir, que en los momentos más difíciles que viene atravesando la humanidad, existe esperanza, ya que el empeño y sacrificio de un grupo de investigadores por lograr articular con suma precisión y esmero un libro, para que en estos momentos tan trascendentales pueda generar una discusión e incluso aportaría alguna luz sobre los desafíos actuales en la que Colombia se encuentra sumergida.

Cabe destacar el cuidado con el cual se ha definido el título del libro “La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país”. El título del libro nos sumerge en los cambios profundos que se vienen gestando en el ámbito internacional y donde su eco no deja resorte en los países en vías de desarrollo, lo que garantiza un análisis más detallado de las posibles soluciones e implementaciones a realizar.

El libro cuenta con once capítulos y abre en su primera sección sobre el papel de la aeronáutica civil en el Marco Nacional de Cualificaciones, un instrumento para alinear el sistema educativo con las necesidades del sector productivo y promover el desarrollo del talento humano. El segundo apartado, pone énfasis sobre el papel de la investigación, concretamente en la puesta en marcha de un centro de desarrollo e innovación de la Aeronáutica CEA, la finalidad es la de armonizar las diversas entidades que producen investigación con base en los productos transferibles.

En el capítulo tres del libro, podemos encontrar los avances en las tecnologías de la comunicación y de la información (TIC's), los cuales son aplicados en la toma de decisiones relacionadas con la industria de vigilancia, con énfasis en los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS), los cuales sirven de apoyo a los servicios de tránsito aéreo (ATS) de acuerdo con las normas de la OACI.

En la sección dos, capítulo cuatro del libro, nos introduce en el sector de la aeronáutica militar y nos habla del papel que juega el incremento de la productividad y la sofisticación en bienes y servicios, lo cual sirve para la identificación de la demanda de productos y servicios en el sector público aeronáutico.

El capítulo cinco se centra en la Fuerza Aérea Colombiana y nos propone la importancia de controlar las aeronaves no tripuladas, el capítulo genera una solución para que el controlador aéreo pueda visualizar los vehículos aéreos no tripulados que operan dentro de su espacio, los investigadores establecen un módulo denominado ADS-B para un sistema UAV. Del mismo modo, el capítulo seis, hace énfasis sobre una hoja de ruta marcada para el año 2030, la cual consta de un desarrollo de piezas aeronáuticas de fabricación local para los aviones utilizados en instrucción primaria.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

El capítulo siete nos muestra una metodología basada en muestreo de conglomerados aeronáuticos de Dosquebradas y Valle del Cauca. El estudio cuenta con un análisis donde identifica la ausencia de una mayor transferencia de tecnología en la industria aeronáutica y aporta los ejes principales para iniciar los procesos de transformación del sector. Aunque, los anteriores capítulos se vienen centrando en el diseño, producción y comercialización en los diversos servicios aeronáuticos. El capítulo ocho, nos habla sobre las operaciones aéreas y los efectos de la corriente en chorro de bajo nivel del Orinoco (OLLJ). Para finalizar la sección dos, el capítulo nueve rompe los esquemas con la propuesta del papel principal que juega los climas organizacionales para la Fuerza Aérea Colombiana, en una propuesta de Modelo Estratégico de Gestión Humana (MEGH).

Finalmente, nos encontramos con la sección tres, la cual se enmarca con los dos últimos capítulos (diez y once). El capítulo diez, habla sobre el proceso de los materiales, en especial los relacionados con el plástico, cuenta con una propuesta para el manejo de residuos poliméricos en Colombia y establece una alternativa para aprovechar el polipropileno reciclado. El libro cierra con el capítulo once, el cual nos habla sobre la importancia del capital social en las empresas de tamaño mediano, el escrito aporta la construcción de un software que ayuda a medir a las organizaciones teniendo en cuenta que el capital social tiene incidencia en la productividad y desarrollo.

Como pueden observar, el libro analiza diversos campos y propone alternativas a sectores específicos e incluso estratégicos para Colombia. Por esto, los invito a leer con detenimiento cada uno de los capítulos aquí presentados. Así mismo, quiero aprovechar la oportunidad para agradecer el esfuerzo de las instituciones como la Universidad ECCI y el Centro de Estudios Aeronáuticos, Institución Universitaria CEA, por dar a conocer mediante la publicación del libro, el esfuerzo de los diversos investigadores que se encuentran recogidos en este volumen.

En momentos tan difíciles no puedo olvidar a todos nuestros colegas que nos han dejado en el plano terrenal, lo que ha ocasionado una pérdida en el campo de la investigación, a su vez extendiendo mis sentidas condolencias a todos los fallecidos por la pandemia del Covid-19 y a sus familiares, esperamos que la investigación ayude a dar respuesta a un mundo que necesita muchas soluciones.

**Jesús Mauricio Flórez Parra**

Profesor Ayudante Doctor de la Universidad de Granada-España





La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## Sección 1.

# Resultados de Investigación en el Sector Aeronáutico civil.

## Capítulo 1

### Marco Nacional de Cualificaciones, un instrumento para alinear el sistema educativo con las necesidades del sector productivo y promover el desarrollo del talento humano Una mirada hacia el sector de la aviación

Mariela Inés Rodríguez Acosta<sup>1</sup>  
Alejandra Flórez Yara<sup>2</sup>  
Santiago Molano González<sup>3</sup>  
Paula Andrea Caldas Rojo<sup>4</sup>  
Alexandra María Rincón Meza<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Mariela Inés Rodríguez Acosta – Magíster en Docencia, Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Matemáticas y CvLAC

<https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do>. Orcid <https://orcid.org/0000-0001-8720-0547> Correo, [mariela.rodriguez@aerocivil.gov.co/ marielarodriguez1211@gmail.com](mailto:mariela.rodriguez@aerocivil.gov.co), asesora Grupo de Investigación Académica y miembro Grupo de Investigación GINA Centro de Estudios Aeronáuticos - CEA

<sup>2</sup> Alejandra Flórez Yara – Pasante. Pasante en el CEA. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4916-8640> y CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001817828](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001817828). Correo: [alejandra.florez.aerocivil.gov.co](mailto:alejandra.florez.aerocivil.gov.co). Estudiante investigador del grupo de investigación en aviación militar de la Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante último semestre de Ingeniería Aeronáutica en la Escuela de Aviación del Ejército.

<sup>3</sup> Santiago Molano González. Pasante. Pasante en el CEA / <https://orcid.org/0000-0002-5151-2837>. y

CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001828978](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001828978). Correo: [santiagomolanogonzalez@cedoc.edu.co](mailto:santiagomolanogonzalez@cedoc.edu.co) / [santiago.molano@aerocivil.gov.co](mailto:santiago.molano@aerocivil.gov.co) Estudiante investigador del grupo de investigación en aviación militar de la Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante de ingeniería Aeronáutica

<sup>4</sup> Paula Andrea Caldas Rojo. Pasante en el CEA. Orcid <https://orcid.org/my-orcid?justRegistered> y CvLAC <https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do>. Correo [paulacaldasrojo@cedoc.edu.co](mailto:paulacaldasrojo@cedoc.edu.co) paula.caldas@aerocivil.gov.co Estudiante investigador del grupo de investigación en aviación militar de la Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante de ingeniería Aeronáutica

<sup>5</sup> Alexandra María Rincón Meza - Magíster en Seguridad y Defensa Nacionales, Internacionalista y Política.

## Resumen

El Marco de Cualificaciones se ha considerado como un instrumento para el desarrollo, la clasificación y el reconocimiento de habilidades, conocimientos y competencias. Tiene como antecedente principal la recomendación 195 de la Organización Internacional del Trabajo – OIT (OIT, 2004), la que se refirió a este como un instrumento que proporciona definiciones de formación contemporánea y promueve la empleabilidad, así como, el aseguramiento de la calidad educativa del país en el cual se implemente. (OIT, 2005).

Al igual que la OIT, organizaciones tales como la UNESCO y la OCDE plantearon la necesidad de acelerar el proceso de creación e implementación de Marcos de Cualificaciones en los diferentes países. Es así como, se registran experiencias en la Comunidad Europea, en Oceanía y en Latinoamérica, principalmente que están atendiendo diversos sectores productivos.

A partir de las experiencias internacionales Colombia inicia en el año 2010 el proceso de desarrollo e implementación de Marcos de Cualificaciones a través del Ministerio de Educación Nacional, hoy ya se tiene consolidada una ruta metodológica con la cual se han construido los catálogos de cualificaciones de los sectores de: Transporte y Logística, Electricidad y Electrónica, Agropecuario, Aeronáutico (MINDEFENSA), Minero, Cultura, Educación, Salud y TIC, el impacto se ha visto reflejado en una oferta educativa pertinente con las necesidades de los sectores mencionados, así como, la definición de cerca de 175 cualificaciones que no solo orientará la formación sino a los empleadores.

Para el caso del sector aeronáutico, en particular el de aviación civil, el desarrollo e implementación del Marco Nacional de Cualificaciones, representa un compromiso con el desarrollo integral y sostenible del talento humano de este sector en línea con los retos de la aviación, de acuerdo con lo expuesto en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030. Es claro, que el sector requiere contar con el suficiente número de personas con las competencias para atender su dinámica cambiante impuesta principalmente por el avance tecnológico. Es por esta razón, que la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil - UAEAC, viene adelantando el proyecto a través del Centro de Estudios Aeronáuticos, en articulación con el Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Trabajo, la industria en todos los subsectores, con el apoyo de la Presidencia de la República. Se espera que en el 2021 se cuente con el Catálogo de Cualificaciones de la Aviación Civil y con ello iniciar la ruta de su implementación.

**Palabras clave:** cualificaciones, marco nacional de cualificaciones, brechas de capital humano, competencias, aviación civil.

## Introducción

Antecedentes como la desarticulación entre el sector educativo con los sectores productivos, la falta de un mecanismo desde las instituciones para atenderla y el escaso reconocimiento de aprendizajes, entre otros, se constituyeron en el fundamento para que varios países validarán el Marco de cualificaciones como el instrumento que permitiría cerrar las brechas de capital humano que se presentaban entre la oferta educativa y el mercado laboral. En Colombia, la introducción e implementación del Marco Nacional de Cualificaciones la inicia el Ministerio de Educación Nacional desde el año 2010, se consolida a través de la Ley 1743 de 2014 en su artículo 58, que dispuso la creación del Marco Nacional de Cualificaciones, y se ratifica en la Ley 1955 de 2019 correspondiente al Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022” (Congreso de la República, 2019). En esta última Ley se crea el Sistema Nacional de Cualificaciones el cual está conformado por una serie de políticas, instrumentos, componentes para alinear la educación con las necesidades de los sectores productivos, dentro de sus componentes se encuentra el Marco de Nacional de Cualificaciones como un instrumento para clasificar y estructurar las cualificaciones (Congreso de la República, 2019).

Para el año 2019 el país ya contaba con 11 Marcos de Cualificaciones para diversos sectores productivos, y definidas 175 cualificaciones, Marcos surgidos de la interacción entre el sector productivo, el educativo y el gubernamental. A la fecha ha sido reconocida la importancia y pertinencia que representa su introducción para la gestión del talento humano.

La implementación de Marcos de Cualificaciones en diferentes países de la Unión Europea, Latinoamérica y Oceanía se ha considerado como un recurso para desarrollar el talento humano en línea con las exigencias de los sectores productivos.

En este capítulo se plantean los antecedentes del Marco de Cualificaciones, seguido de una conceptualización a partir de la definición, propósitos y alcances; se muestran algunas experiencias internacionales y la experiencia que ha desarrollado Colombia. Por último, con base en estos planteamientos y experiencias, se hace una contextualización del proyecto que viene adelantando la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil en alianza con los Ministerios de Educación y Trabajo para entregar a Colombia el primer insumo con el cual se pretende alcanzar uno de los objetivos estratégicos planteado en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030 relacionado con el desarrollo del talento humano para el sector.

## **Antecedentes del Marco Nacional de Cualificaciones**

Los antecedentes del Marco Nacional de Cualificaciones en los diferentes sectores productivos están relacionados, en su mayoría, con la desarticulación de los actores Academia – Estado – Industria, la cual no ha propiciado un diálogo para reconocer las brechas de talento humano existentes entre la oferta educativa y el mercado laboral.

En escenarios académicos y empresariales es notable la brecha de la educación con los requerimientos del mercado laboral, siendo un primer generador que plantea

(...) la inexistencia de un sistema bien desarrollado que permita a los empleadores comunicar sus necesidades a las instituciones de educación superior, lo que puede deberse a razones culturales de dos mundos que operan en paralelo, con pocas interconexiones sistémicas, debido a la ausencia de una institucionalidad que los vincule y también estructurales, las que se grafican en la composición relativamente inflexible de la educación superior. (Solís, Castillo, & Undurraga, 2013, p. 241).

Respecto de lo descrito, se reconoce que la ausencia de una institucionalidad que promueva esa interconexión sistémica no permite visibilizar las variables que afectan los sectores, lo cual repercute en la productividad; es claro,

para que el país y las regiones alcancen mayores niveles de desarrollo se requiere superar la ruptura existente entre el mundo empresarial y el académico, además de eliminar la desarticulación existente de las políticas, impulsadas por los diferentes actores, sobre el desarrollo del medio científico y tecnológico, el mayor generador de riqueza y de formación de capital humano, responsable de los saltos positivos en los niveles de desarrollo al cual llegan algunos países (Guerrero, 2009, p.11).

En este argumento aparece otro factor, es el relacionado con la desarticulación de las políticas impulsadas por cada uno de los sectores, las cuales generan un posible bajo desarrollo científico y tecnológico de un país. En este sentido, se puede determinar que la falta de política y de un mecanismo surgido desde la institucionalidad de un país que promueva la interacción sistémica entre academia e industria trae como consecuencia no

asumir de manera efectiva los retos que impone el mundo en relación con la globalización y la innovación científico-tecnológica. Adicional a lo anterior, en algunos países se presenta “la existencia de dos subsistemas de formación profesional paralelos (dependientes de los Ministerios de Educación y de Trabajo) que, pese a pretender formar muchas veces en las mismas competencias, no tenían ninguna interrelación” (Menéndez, 2009, p.1).

Ahora bien, se reconoce que:

En un contexto cambiante, pleno de innovación, e inmersos en una sociedad del conocimiento cada día más globalizada, los nuevos empleos requieren de nuevas cualificaciones y competencias. Las empresas están abocadas a incorporar nuevas estrategias para ser competitivas, y los trabajadores a adquirir los conocimientos, habilidades y destrezas que les permitan mantenerse en el mercado de trabajo y desenvolverse de forma competente en los actuales procesos productivos, es decir, a adquirir y desarrollar competencias profesionales. Ante esta realidad, la cualificación de los recursos humanos cobra una importancia fundamental y se transforma en una ventaja competitiva para todo país. Esto lleva a considerar que el aprendizaje debe ser asumido como un proceso permanente que permita a empresas y trabajadores potenciar sus capacidades de innovación y de adecuación a las necesidades del sistema productivo (Arbizú F., 2015).

Esta dinámica mundial impone a los sectores productivos revisar la gestión de talento humano para que esté en la capacidad de atender los retos y desafíos a los que se enfrenta el sector productivo para ser competitivo; de igual manera, se reafirma la necesidad de establecer las estrategias para articular los dos sectores educativo y productivo, en particular reconocer que la cualificación del talento humano se convierte en ventaja competitiva y otro, que el aprendizaje debe ser asumido como algo permanente. Esta última premisa, se debe revisar desde los dos actores en este sentido, se deben estudiar los antecedentes, especialmente del contexto educativo al cual se le ha dado la responsabilidad de formar el talento humano desde la primera infancia.

Al respecto, el sector educativo ha venido mostrando en varios países un proceso de transición para pasar de un modelo tradicional centrado en el docente, con planes de estudio sobrecargados de contenidos y con muy pocos espacios para la integración, aplicación de los aprendizajes, a un modelo centrado en el estudiante en atención a las tendencias que promueven el desarrollo de competencias, por ende, la promoción de una política centrada en el individuo. De acuerdo con la OIT

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

... Colocar al individuo en el centro de las políticas educativas y de formación se expresa en un concepto amplio según el cual invertir en las personas no sólo tiene que ver con mejorar la educación, es necesario hacerlo dentro de una dimensión humana de la productividad y la competitividad, y considerar igualmente a la empresa y las cuestiones relacionadas con la gestión de los recursos humanos, el desarrollo de las cualificaciones y la participación integrada de los trabajadores en las empresas. (Vargas, 2009)

Con base en el anterior planteamiento, el escenario de formación y cualificación marca una línea que trasciende del aula a la empresa. Sin embargo, aparece otro aspecto por revisar y es el nivel de formación. Los sistemas educativos han establecido varios niveles educativos, algunos de tipo formal que son conducentes a la obtención de títulos y por el otro, un nivel que solo se certifica y se centra en el desarrollo de las competencias propias para el desempeño de una ocupación. La articulación de estos dos niveles no se ha contemplado dentro de una posible progresión educativa porque desde la educación formal no son fácilmente legibles (Vargas, 2009).

A simple vista, se plantea una gran diferencia entre los niveles de educación y no existe un mecanismo por el cual se reconozcan los aprendizajes entre estos, que facilite la movilidad del talento humano. Se plantea, así, otro reto que se sintetiza en la Declaración de Icheon como:

(...) la necesidad de brindar una educación activa, inclusiva, equitativa con aprendizajes a lo largo de la vida, se aspira para el 2030 la existencia de mecanismos de aprendizajes flexibles para el reconocimiento, validación y acreditación de los conocimientos, habilidades y competencias adquiridos mediante la educación informal, no formal, abordando por ende la formación técnica, profesional y superior de calidad, incluida la enseñanza universitaria (UNESCO, 2016).

En relación con el planteamiento anterior, se demuestra (Menéndez, 2009) “la existencia de muchos ciudadanos que, desempeñando puestos relativamente cualificados, no tienen reconocida formalmente ninguna cualificación y tienen dificultades para moverse en el mercado laboral o progresar” (p.1), para lo cual se viene proponiendo estudiar la posibilidad de plantear una estrategia que reconociera las competencias que se desarrollan en el marco de la experiencia en el trabajo, validará la formación recibida en este y tuviera en cuenta las actividades propias de la persona en su vida social que pueden ser formalmente valoradas de un modo

sistemático y transparente (Vargas, 2009). Este marco se viene exigiendo al sistema educativo cambiar el pensamiento de una educación terminal y abrir el paso al reconocimiento de varias posibilidades de acceso y movilidad dentro del sistema.

Atendiendo al contexto expuesto, diferentes países del mundo han tomado la decisión de implementar y desarrollar el Marco Nacional de Cualificaciones como instrumento orientado por una entidad del Estado y fundamentado en una política, que permita articular el sector educativo con el sector productivo a partir del reconocimiento de las especificidades del sector productivo las tendencias que demarcan su prospectiva y reconocimiento de las brechas de capital humano.

Ya desde junio del 2004, la OIT (Organización Internacional de Trabajo), (OIT, 2004). en la recomendación 195 planteó “la necesidad de desarrollar el Marco Nacional de Cualificaciones como un instrumento que proporcionará definiciones de formación contemporánea incluyera el aprendizaje permanente, las competencias y la empleabilidad.” (p.) La misma organización en el 2019, plantea que el Marco es un instrumento que promueve la calidad académica del país donde se implemente, siendo de esta forma (OIT, 2019) un insumo fundamental dentro de los sistemas de aseguramiento de la calidad de la oferta de educación y formación. (p.15) En aras de ilustrar el panorama, la siguiente gráfica expone la necesidad de introducir el Marco nacional de Cualificaciones expuesta por varias organizaciones:



Ilustración 1: Elaboración equipo técnico MNC/MEN

Sintetizando, “los países que introducen un marco de cualificaciones pretenden hacer que sus sistemas educativos nacionales sean más transparentes, innovadores y competitivos, con el objetivo de generar una mayor correspondencia entre el sistema educativo y el mercado laboral” (Bohlinger, 2007, p.1).



## Marco Nacional de Cualificaciones y sus concepciones

A continuación, se plantearán los conceptos, características y alcances de un Marco de Cualificaciones, por lo cual se promueve su introducción y desarrollo como una estrategia de articulación de los actores involucrados en el desarrollo del talento humano.

Un primer concepto es el de resultados de aprendizaje; el Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos (ECTS, 2015) plantea que estos describen lo que una persona sabe, comprende y es capaz de hacer tras culminar con éxito un proceso de aprendizaje.

Un segundo concepto es el de cualificación que, de acuerdo con el Centro Europeo para el Desarrollo de Formación Profesional (CEDEFOP, 2014) corresponde al:

Resultado formal (certificado, diploma o título) de un proceso de evaluación que se obtiene cuando un organismo competente establece que una persona ha logrado los resultados de aprendizaje correspondientes a un nivel determinado y/o posee las competencias necesarias para ejercer un empleo en un campo de actividad profesional específico. Una cualificación confiere un reconocimiento oficial del valor de los resultados de aprendizaje en el mercado de trabajo y en la educación y formación. En este sentido cualificarse significa lo que una persona conoce-comprende y es capaz de hacer (p.208).

Lo anterior se complementa con los aportes de (Arbizu, 2016) quien afirma que la cualificación es reconocida en un documento formal (título, certificado) sobre la base de normas y especificaciones regulatorias. Estas normas y especificaciones constituyen los estándares de la cualificación. En lo referente al Marco Nacional de Cualificaciones, también son varias las organizaciones que hacen abordaje, entre esas el Centro Europeo para el Desarrollo de Formación Profesional - CEDECOP, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE y la Organización Internacional del Trabajo - OIT:

Para (CEDECOP, 2014), es un instrumento para el desarrollo y clasificación de las cualificaciones, a escala nacional o sectorial, con arreglo a un conjunto de criterios (por ejemplo, con ayuda de descriptores) correspondientes a niveles específicos de

resultados de aprendizaje o bien instrumento de clasificación de las cualificaciones en función de un conjunto de criterios correspondientes a determinados niveles de aprendizaje, cuyo objeto consiste en integrar y coordinar los subsistemas nacionales de cualificaciones y en mejorar la transparencia, el acceso, la progresión y la calidad de las cualificaciones en relación con el mercado de trabajo y la sociedad civil. (p,214)

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OCDE define el Marco de Cualificaciones como:

Un instrumento para el desarrollo, la clasificación y el reconocimiento de habilidades, conocimientos y competencias según una escala continua de niveles acordados con base en un conjunto de criterios. Ese conjunto de criterios puede estar implícito en los descriptores mismos de las cualificaciones o explicitar a través de descriptores por niveles (Vargas & Billorou, 2010, p.).

Los mismos autores (Vargas & Billorou, 2010) mencionan que:

Según la OIT/Cinterfor, es un instrumento consensuado y único que reúne y articula un conjunto de cualificaciones, presentándolas de forma ordenada por niveles asociados a criterios definidos, y que puede tener un alcance regional, nacional o sectorial. El diseño del marco suele prever la forma en que las personas pueden movilizarse vertical y horizontalmente, así como los mecanismos de gestión y de aseguramiento de la calidad de las cualificaciones (OIT, 2020)

Por su parte Tuck (2007), dice que:

Un Marco de Cualificaciones es un instrumento para el desarrollo, la clasificación y el reconocimiento de destrezas, conocimientos y competencias a lo largo de un continuo de niveles acordados. Es una vía para estructurar cualificaciones existentes y nuevas, que se definen a partir de resultados de aprendizaje, es decir, afirmaciones claras acerca de lo que el estudiante debe saber o ser capaz de hacer, ya sea que haya sido

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

aprendido en una sala de clases, en el lugar de trabajo, o menos formalmente (Vargas & Billorou, 2010).

Las tres definiciones conducen a reconocer un instrumento mediante el cual se pueda

Ajustar la educación y formación a las necesidades del sistema productivo y la economía. Integrar y articular las distintas formas de aprender para permitir la movilidad entre la educación general, la técnica, la formación profesional, la universidad y los aprendizajes informales. (...) Revisar y actualizar el currículo de la oferta de educación y formación. Elevar el nivel de cualificación de la población activa Certificar las competencias adquiridas por aprendizajes no formales e informales, sobre todo experiencia laboral. Mejorar la calidad de la oferta (Arbizu, 2017, p.6)

Esta misma autora reafirma que el Marco ha representado una herramienta que ayuda a afrontar los desafíos en relación con la educación y la formación dado que juegan un papel importante en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En este sentido, se busca

(...) garantizar que las cualificaciones sean pertinentes y de buena calidad, en respuesta a las necesidades económicas y sociales del país, y a las necesidades de formación y aprendizaje a lo largo de la vida de las personas. Solo así podrán alcanzar el necesario reconocimiento a nivel nacional, regional e internacional (Arbizu, 2017, p.3)

Por otro lado, para la OIT el Marco debe “ser adaptable a los cambios tecnológicos y a la evolución del mercado de trabajo, debe dar cabida a las diferencias regionales y locales, sin que ello le reste transparencia en el plano nacional”. En su Recomendación 195, plantea varios aspectos que tienen que ver con la forma de abordaje e implementación, ya que:

Deberían adoptarse medidas, en consulta con los interlocutores sociales y basándose en un marco nacional de Cualificaciones, para promover el desarrollo, la aplicación y el financiamiento de un mecanismo transparente de evaluación,

certificación y reconocimiento de las aptitudes profesionales, incluidos el aprendizaje y la experiencia previos, cualquiera que sea el país donde se obtuvieron e independientemente de que se hubiesen adquirido de manera formal o no formal.

Los métodos de evaluación deberían ser objetivos, no discriminatorios y vinculados a normas.

El marco nacional debería incluir un sistema de certificación confiable, que garantice que las aptitudes profesionales sean transferibles y reconocidas por los sectores, las industrias, las empresas y las instituciones educativas (Oficina Internacional del Trabajo, marzo 2005, p. 59).

Al establecer estos parámetros la OIT da cuenta de la necesidad de que el proceso de implementación para que desarrollo se dé de manera transparente y objetiva, de tal forma que se pueda garantizar la pertinencia de este con las necesidades regionales.

Un aspecto para resaltar de la implementación y desarrollo está relacionado con la autonomía con que los países lleven a cabo el abordaje, es decir, que cada país define la metodología.

## **Experiencias internacionales del Marco Nacional de Cualificaciones**

Un aspecto sobresaliente de las experiencias internacionales es que no se ha desarrollado de manera específica por sectores, sino un marco general para el país. Estas experiencias permiten afianzar el desarrollo de este proyecto para el país y reflexionar en aspectos relevantes para su implementación en los diferentes sectores productivos. Por su parte, la experiencia en España permite vislumbrar la importancia de generar el catálogo de cualificaciones que amplíe el engranaje entre la industria y los sectores productivos acorde con los cambios propios generados por la globalización y el desarrollo tecnológico.

La mayoría de los países europeos se encuentran en proceso de desarrollar y poner en práctica métodos y sistemas destinados a la evaluación y acreditación, para su reconocimiento de las competencias profesionales adquiridas a través de la experiencia

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

laboral y de vías no formales de aprendizaje (Arbizú F., ADIDE, 2007).

De tal suerte que se registran experiencias en la Comunidad Europea, en Oceanía y en Latinoamérica principalmente.

Un número significativo de países, en distintas regiones del mundo, cuentan o están en proceso de diseñar e implementar sus propios Marcos Nacionales de Cualificaciones, a fin de articular los sistemas de educación y formación, y dar respuesta al mercado de trabajo, particularmente en los niveles técnico-profesional y superior (Arbizú, 2015)

Al respecto, Arbizu (2017) expone que en 2006 se generó la creación del “Marco Europeo de Cualificaciones para el trabajo a lo largo de la vida”, con el fin de determinar un lenguaje común para todos los países miembros, empleadores y los empleados que se basa en estandarizar los niveles de referencia y transferencia de créditos de formación entre los países, incrementando las oportunidades para todos y permitiendo mayor productividad. Esto permite determinar la importancia de generar mecanismos que permitan incrementar el engranaje entre el Estado, la Academia y la Industria, y de manera particular, en Colombia se desarrolla la identificación de estas cualificaciones por sectores para dar mayor eficiencia en las habilidades y particularidades de cada sector. El hecho de reconocer cuáles son las diferentes cualificaciones permite determinar los perfiles encaminados con los diferentes niveles de formación.

Se puede traducir en la necesidad de la sociedad postmoderna de adquisición de mayores niveles de formación, o en la acreditación mediante un documento sellado por profesionales, sobre las aptitudes que se poseen para el ejercicio de una determinada actividad profesional (García & Bueno, 2009, p.3).

En este marco de cómo se está organizando Europa en este aspecto, cabe resaltar que “a nivel europeo, algunos de los estados que ya tienen implantado un sistema reconocimiento profesional son Holanda (CINOP), Noruega (RKK), Finlandia (NRP ENIC/ NARIC), Francia (VAP/VAE), Bélgica (CVDC), Reino Unido (QCA), Rumanía (NATB), Dinamarca y Portugal”. (García & Bueno, 2009, p.4).

Así mismo, en España se cuenta con diferentes mecanismos que permiten definir la importancia de este tipo de herramientas en el sector productivo. Aunque se basan en un Marco estándar para todos los países europeos – Marco Europeo de Cualificaciones, cuentan con un Sistema Nacional de Cualificaciones Profesionales para el país y a su vez con marcos más específicos como el Sistema de Cualificaciones Profesionales de Andalucía. Al respecto se ha presentado una herramienta que permita a los estudiantes enfocar mejor su desempeño e inserción al mundo laboral, a través de una autoevaluación de competencias y conocimiento de las áreas profesionales (Pérez, 2010).

En otro sentido, es considerable tener en cuenta las experiencias en esta materia para la región de América Latina. En este aspecto

La comunidad internacional ha establecido una ambiciosa **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible** que cuenta con el consenso de todos los países de América Latina y el Caribe en sus objetivos, metas e indicadores. Esta agenda se compromete con un enfoque integrado de desarrollo, apostando a la erradicación de la pobreza en todas sus formas y dimensiones, al crecimiento económico inclusivo y sostenible, a la lucha contra la desigualdad, la preservación del planeta y al trabajo decente para todas las mujeres y los hombres. (Oficina Regional de Educación de la UNESCO, 2016)

Con lo anterior se comprende que para la región es de gran importancia generar un marco educativo enfocado a reducir la pobreza e incrementar los niveles de equidad y sostenibilidad. Los países de la región buscan mejorar sus posibilidades estratégicas con el fin de insertarse en el escenario internacional de una manera más competitiva.

En Paraguay, por ejemplo, con el Sistema Nacional de Cualificaciones Profesionales,

(...) la ordenación de la fragmentada oferta, su falta de pertinencia y, la escasa escolaridad de la PEA, sin duda son los problemas prioritarios que el país está encarando mediante la puesta en marcha del Plan de Mejora. Esta tarea supondrá un importante desafío, no sólo desde el sostenimiento del financiamiento comprometido, sino también, desde el necesario acompañamiento para la construcción de una nueva institucionalidad a nivel macro y la articulación con el nivel micro, para que efectivamente se hagan operativos estos lineamientos de política. Esta cuestión es estructural para la viabilidad de iniciar un diseño de un sistema nacional (Briascó, 2012, p.21).

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

En el marco de este tema en República Dominicana, se establece que la formación Técnico Profesional (FTP) en la tradición de América Latina, se entiende como

aquella modalidad educativa que se orienta esencialmente a la adquisición de calificaciones prácticas y conocimientos específicos, necesarios en el desempeño de un empleo dado o de un grupo determinado de empleos, lo que constituye un elemento intermedio entre el sistema educativo y el mundo de la empresa; es un esfuerzo educativo orientado al trabajo. (Amargós, 2018)

En este aspecto, en República Dominicana también se fortalece la triada a través de la conformación tripartita de la Junta de Directores, como órgano máximo de gobernanza de Infotep, indica que ella converge actores gubernamentales, empresariales o empleadores privados y los trabajadores. Es la única entidad del país que emula los principios del “tripartismo” con que nació la Organización Internacional del Trabajo (OIT). (Amargós, 2018, p. 57)

## Contexto del Marco Nacional de Cualificaciones en Colombia

El punto de partida del Marco Nacional de Cualificaciones es el reconocimiento de que uno de los focos por los cuales Colombia no ha podido superar la barrera de competitividad internacional, es la pobreza. El acceso a la educación además la desigualdad socioeconómica en el país ha demarcado el futuro laboral de muchos niños, jóvenes y adultos. En una evaluación realizada por las pruebas SABER se dedujo que el origen socioeconómico de los padres predeterminaba el futuro educativo de los hijos, lo cual hace alusión a la gran desventaja que se genera de una clase económica a otra, aportando una preeminencia sobre la disparidad en el acceso a la educación y en efecto a los cumplimientos de los logros en Colombia. Desde el año 2000, Colombia se ha esforzado por mejorar los datos sobre la educación y el análisis de los mismos, además de dar un valor agregado al sector educativo. Si el país se enfoca en fortalecer la administración del sistema de información y controlar las brechas entre la calidad de datos y la capacidad para usarlos, el país puede tornar a contribuir a ser de un potencial de talla mundial, acaparando una comunidad de investigación influyente y desarrollada, mejor que la que ya posee OECD.

Al respecto, el país plantea la meta de convertir a Colombia en el país más educado al 2025 en América Latina y ser uno de los países más competitivos en el 2032, se vislumbraron varias acciones que apuntaban

hacia la gestión de talento humano. De acuerdo con MEN (2018) una de estas acciones se consolidó en el CONPES 3674 de 2010 el cual se estableció la necesidad y los lineamientos de política para la construcción del Marco Nacional de Cualificaciones para Colombia como una de las estrategias fundamentales de gestión del talento humano basada en competencias que permitiera la articulación, transparencia y movilidad de las cualificaciones en el país, que cuenten con la adecuada cobertura, pertinencia y calidad.

Dentro del CONPES se determinaron los principales problemas que el Marco nacional de Cualificaciones se propondrá dar solución, entre estos se encuentran MEN:

- La desarticulación entre los diferentes niveles educativos y tipos de formación.
- Educación terminal y no con la perspectiva de aprendizaje permanente.
- Ausencia de orientación vocacional y/o socio ocupacional como lineamiento de política educativa.
- Dificultad de movilidad en la educación postmedia.
- Falta de pertinencia de la oferta educativa y articulación con el sector productivo.
- Bajo reconocimiento histórico de la calidad de los programas de formación técnica y tecnológica.
- Bajo reconocimiento de los aprendizajes logrados por las personas, independiente de dónde, cuándo y cómo fueron adquiridos.
- Ausencia de un Sistema integral de aseguramiento de la calidad.
- Ausencia de espacios normativos comunes, de un marco nacional de cualificaciones y de un sistema de acumulación y transferencia de créditos.
- La educación para el trabajo y el desarrollo humano carece de reconocimiento como ruta de formación y progresión laboral.

Un aspecto que es necesario resaltar es que los mecanismos de articulación con el sector productivo son insuficientes. Pese al esfuerzo del SENA con las mesas y consejos sectoriales, la participación del sector productivo en la definición de la oferta ha sido discreta.

Analizado el contexto expuesto en el CONPES 3674, el Ministerio de Educación Nacional inicia el proceso, así pues, entre el año 2010 – 2014 lleva a cabo la fundamentación, entre el 2014 – 2015 el de diseño y estructuración, entre el 2015 – 2016 de validación; ya en el periodo comprendido entre el 2017 – 2025 estará en la implementación.



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

### Fases de implementación MNC Ministerio de Educación Nacional

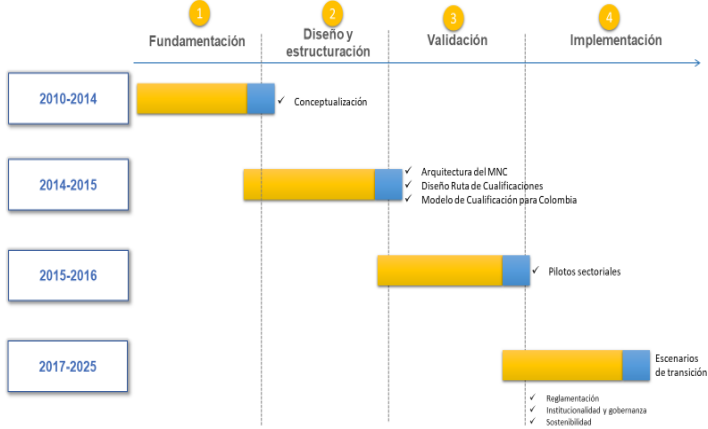


Ilustración 2 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN.

Cabe resaltar, que el Ministerio ha avanzado significativamente en la etapa de diseño, estructuración y desarrollo del Marco Nacional de Cualificaciones, para lo cual ha atendido a experiencias internacionales. En la primera fase A partir de los hallazgos se identificó el proceso que el país debía surtir para el diseño la estructuración del marco como una herramienta que aporte al relacionamiento entre los sectores productivo y educativo, que permita la transparencia, pertinencia, movilidad y reconocimiento del aprendizaje a lo largo de la vida para los colombianos.

Ya para el 2014, el MEN concluyó la fase de conceptualización y fundamentación, pasando a la fase de diseño, además de eso estructuración para la cual contó con asesorías internacionales sobre marcos y sistemas educativos de países como Australia, Canadá, Reino Unido, y España, entre otros.

En los años 2015, 2016 y 2017 se han generado grandes avances; uno muy significativo fue la definición de una ruta metodológica para el diseño de las cualificaciones, en la estructura de un modelo de cualificación para Colombia, esta ruta metodología propendía consolidar los vínculos de correspondencia entre los sectores productivos y el sector educativo.



Ilustración 3 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN.

Ya en el 2016 se llevan a cabo ejercicios pilotos para varios sectores productivos como el Aeronáutico para la aviación de Estado, el TIC, entre otros.

Con respecto a su fundamentación legal, mediante la Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”, en su artículo 58, dispuso la “creación del Marco Nacional de Cualificaciones (MNC) como un instrumento para clasificar y estructurar los conocimientos, las destrezas y las actitudes en un esquema de niveles de acuerdo con un conjunto de criterios sobre los aprendizajes logrados por las personas”. En ese mismo año se dispuso (Congreso de Colombia, 2015) “el Sistema Nacional de Calidad de la Educación Terciaria (SISNACET), para la integración incluso coordinación de los organismos, estrategias e instrumentos de educación terciaria, cuyo objeto es asegurar y promover la calidad de la misma” (p. 31); el Sistema Nacional de Acumulación y Transferencia de Créditos (SNATC), todos estos sistemas tenían como finalidad de “acompañar la implementación del Marco Nacional de Cualificaciones y lograr la integración entre los diferentes tipos y niveles de educación” (MEN, 2018).

En el año 2019 bajo la Ley 1955 en el artículo 194 por la cual se reglamenta el Plan Nacional de Desarrollo

PND 2018-2022, se crea el “Marco Nacional de Cualificaciones (MNC), como un instrumento para clasificar y estructurar las cualificaciones en un esquema de (8) niveles ordenados y expresados en términos de conocimientos, destrezas y aptitudes de acuerdo con la secuencialidad y complejidad de los

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

aprendizajes que logran las personas en las diferentes vías de cualificación.

En la siguiente tabla se muestra la propuesta del sistema de educación y formación en los niveles, competencias y grupos ocupacionales.

Tabla 1 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN.

CINE	MNC	Sistema de Educación y Formación	Competencia CIUO	Grupos CIUO 08
8	8	Doctorado	4	1. Directores y gerentes. 2. Profesionales, científicos e intelectuales
7	7	Maestría Universitaria    Especialización Médica		
6	6	Universitario    Especialización Universitaria		
5	5	Tecnólogos Técnicos    Esp. Tecnológica Esp. Técnica	3	3. Técnicos y profesionales de nivel medio.
4	4	Normalista Superior	2	4. Personal de apoyo administrativo. 5. Trabajadores de los servicios y vendedores de comercios y mercados. 6. Agricultores y trabajadores calificados agropecuarios, forestales y pesqueros. 7. Oficiales, operarios, artesanos y oficios relacionados. 8. Operadores de instalaciones y máquinas y ensambladores.
3	3	Bachiller Técnico Bachiller Académico		
2	2	Básica Secundaria		
1	1	Básica Primaria	1	9. Ocupaciones elementales.

Fuente: elaboración equipo técnico MNC/MEN

Consolidado el ejercicio de diseño y estructuración el Ministerio de Educación se plantea la definición del Marco Nacional de Cualificaciones, al respecto se entiende que : el MNC es un componente del Sistema Nacional de Cualificaciones y se define como el instrumento que permite estructurar y clasificar las cualificaciones en función de un conjunto de criterios, ordenados por niveles y expresados en términos de resultados de aprendizaje alcanzados por las personas, y propone los siguientes objetivos:

- Facilitar la movilidad y la progresión educativa, formativa y laboral mediante el reconocimiento de los aprendizajes adquiridos a lo largo de la vida.
- Promover la oferta educativa y formativa de acuerdo con las necesidades de cualificación de la sociedad y del mercado laboral.

- Facilitar la articulación de las cualificaciones de los niveles de la educación y de la Formación para el Trabajo.
- Orientar e informar a la comunidad acerca de las oportunidades de acceso y las trayectorias de cualificación que favorezcan la movilidad educativa y laboral en el ámbito nacional e internacional.
- Promover la interacción entre los empleadores, trabajadores, estudiantes y el gobierno con miras al desarrollo de la productividad y al cierre de brechas en el mercado laboral.
- Orientar a los empleadores en la gestión de talento humano.

En términos generales, el reto que plantea el MNC se resume en:

- Fortalecer el vínculo entre los sectores Educativo, Productivo y Gubernamental.
- Mejorar la calidad y pertinencia de la educación y formación del país.
- Favorecer el reconocimiento de aprendizajes como experiencia laboral.
- Articular los distintos niveles educativos y tipos de formación.

Se puede evidenciar que lo elaborado por Colombia da clara cuenta de los objetivos que se plantean para un Marco de Cualificaciones:

- Establecer, en el ámbito nacional, normas o niveles relativos a los resultados del aprendizaje en forma de conocimientos, destrezas y competencias.
- Fomentar, a través de la normativa, la calidad en la oferta de educación y formación.
- Crear un sistema de coordinación y/o integración de cualificaciones, y permitir compararlas estableciendo correspondencias entre ellas.
- Facilitar el acceso a la formación, la transferencia de resultados de aprendizaje y la progresión en los itinerarios de aprendizaje (Arbizú, 2015, p. 19).

Al 2020 se cuentan con varias experiencias que se traducen en catálogos de cualificaciones para los subsectores: Electricidad y Electrónica, Transporte y Logística, Agropecuario, Aeronáutico (aviación de Estado) Minero, Cultura, TIC, Educación y Salud.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

### Catálogo Nacional de Cualificaciones



Ilustración 4 Elaboración Equipo Técnico MNC/MEN.

El sector de tecnologías de la Información y la Comunicación TIC fue desarrollado entre el 2015 y el 2016.

En septiembre de 2016 se establece una alianza de cooperación internacional e interinstitucional entre el MEN, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Cultura y el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), posteriormente se vincula al convenio el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Defensa, para el diseño de cualificaciones en los siguientes subsectores:”

- Agropecuario (agrícola, pecuario).
  - Minas (oro y carbón).
  - Salud (atención integral)
  - Aeronáutico (mantenimiento de aeronaves y servicios de operación aérea).
  - Cultura (patrimonio cultural, oficios de las artes escénicas).
- (MINEDUCACION, MNC, 2017, p. 9)

Mirando el proceso en una línea de tiempo se representa así:

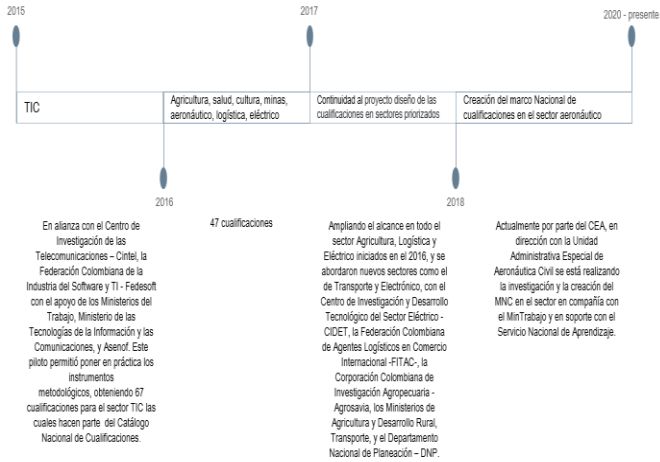


Ilustración 5 Elaboración CEA.

## Antecedentes de la construcción del Marco Nacional de Cualificaciones para el sector aeronáutico en Colombia

### Plan piloto sector de aviación de Estado 2016

Una experiencia de Diseño de Cualificaciones fue la realizada en conjunto con el Ministerio de Defensa Nacional para los subsectores de Mantenimiento Aeronáutico y Servicios a la Navegación Aérea, que se planteó para orientar la oferta educativa de la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana.

Los resultados del proyecto piloto del Ministerio de Defensa para la Aviación de Estado identificaron 4 calificaciones para los subsectores estudiados, de estos se desprendieron las competencias generales apuntadas a las ocupaciones. “Cualificaciones identificadas para el subsector Mantenimiento Aeronáutico (limitado a mantenimiento de aeronaves) y Servicios a la Navegación Aérea (limitado a control de tránsito aéreo)” (MEN, 2016, p.9).

El siguiente esquema sitúa las calificaciones del subsector en relación con los niveles definidos por el MNC:

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país



Ilustración 6 Ministerio de Educación Nacional.

El nivel 5 representa el nivel de formación que en este caso representa Tecnología y el 6 por la responsabilidad ingeniero.

## Proyecto Marco Nacional de Cualificaciones de la Aviación Civil

Al respecto, la UAEAC en el año 2018 desarrolló un análisis previo a la construcción del Plan Estratégico del Sector Aeronáutico 2030 que se dirigió al Desarrollo del Talento Humano para el Sector, por ello propuso como eje temático “La Articulación de los actores que intervienen en el fomento del desarrollo integral y sostenible del Talento Humano para el Sector Aeronáutico”, se propuso este estudio para “identificar líneas estratégicas que armonicen y permitan reconocer desde las diferentes instancias: Estado – Industria - Academia las brechas del sistema de Gestión de Talento Humano para lograr atender los requerimientos que demanda el desarrollo del Sector Aeronáutico en Colombia” (UAEAC, 2018)

Este estudio tomó como referente, una iniciativa de la OACI relacionada con el Programa Nueva Generación de Profesionales de la Aviación del año 2009. Al respecto, la propuso a los Estados revisar estrategias para atraer, educar y retener el Talento Humano calificado con el fin de atender los retos del sector; todo se traducía en una necesidad de garantizar al sector, profesionales de la aviación calificados y con las competencias para operar, gestionar y mantener el futuro sistema de transporte aéreo internacional.

Mantener el futuro sistema de transporte se traduce en una primera instancia en reconocer que el sector de la aviación civil obedece a una

dinámica global enmarcada en lineamientos y normativas recomendados por la Organización de Aviación Civil Internacional con los cuales se pretende estandarizar los procesos y procedimientos en todos los campos para alcanzar los niveles óptimos de seguridad operacional y el desarrollo de la industria aeronáutica (OACI, s.f.).

El sector de la aviación en particular es un sector que evoluciona tecnológicamente de manera vertiginosa, lo cual obliga a la industria del sector: explotadores de aeronaves, concesiones aeroportuarias, organizaciones de mantenimiento y prestadores de servicios de navegación aérea a incorporar los avances tecnológicos para el desarrollo de un transporte aéreo seguro y eficiente.

Ese escenario plantea, no únicamente el reto de adquisición, sino el de contar con el talento humano con las competencias necesarias para atender el nuevo contexto tecnológico. Al respecto surgieron interrogantes, como: ¿están alineados los actores del ecosistema aeronáutico para atender la dinámica del sector de la aviación civil?, ¿la formación del talento humano es correspondiente con las necesidades del sector en todos sus campos?, ¿cuáles deben ser las competencias que deben desarrollar las personas para asumir los retos que se generan? Estos interrogantes condujeron a revisar estrategias o mecanismos que promovieran la alineación de los actores del ecosistema en materia de la gestión del conocimiento para inducir mejora o para desarrollar en el sector ventajas competitivas, así como, para determinar qué es lo que requiere en materia de talento humano y su gestión.

Lo expuesto llevó a analizar un fenómeno que se viene presentando en la educación para el sector, ha tenido que ver con uno de los aspectos tocados en el documento CONPES 3674 DE 2010 y es el referente a la desarticulación entre niveles educativos y tipos de formación. Al respecto, como primer antecedente de esta situación se presenta la autonomía curricular propuesta a través de la Ley 115 de 1994 la cual permite el abordaje curricular de maneras distintas en los programas académicos de Colombia. A raíz de esta autonomía, surgieron programas que abordaban diferentes cualificaciones y que no se articulaban en los niveles de educación: superior, educación para el trabajo y desarrollo humano ETDH y la Formación Profesional Integral promovida por el SENA. Todos estos programas conducen al reconocimiento formal del aprendizaje adquirido mediante títulos y certificados.

Sin embargo, sucede algo muy particular en la cualificación de talento humano en el sector de la aviación y se relaciona con un cuarto actor que no es contemplado dentro del Sistema Educativo, pero que tiene gran incidencia en el sector y son los Centros de Instrucción de Aviación Civil – CIAC. En este sentido, el sistema educativo colombiano contempla el desarrollo de programas académicos hacia el sector en tres vertientes, la educación superior para una titulación y la capacitación para una certificación.

La primera vertiente presenta una oferta formal regulada por el Ministerio de Educación Nacional, con procesos claros de aseguramiento de la calidad, conducente a la obtención de títulos en los niveles de Pregrado



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

y Posgrado tanto en la educación profesional, tecnológica y técnica profesional. Para el caso del sector, esta educación atiende varios subsectores como construcción y conservación de aeronaves y partes, servicios aeroportuarios y algunos de servicios a la navegación aérea.

En la segunda vertiente, se encuentra la educación para el Trabajo y Desarrollo Humano ETDH, este nivel es regulado por las Secretarías de Educación de los Municipios y la Aeronáutica Civil para efecto de su funcionamiento y diseño curricular.

En la tercera vertiente, se encuentra una oferta que no es regulada por el Ministerio de Educación Nacional, sino por la Autoridad Aeronáutica y en esta vertiente se encuentran las capacitaciones para los subsectores de explotación de aeronaves, mantenimiento aeronáutico, seguridad de la aviación civil, operaciones aeroportuarias y varios de servicios a la navegación aérea: Gestión de Tránsito Aéreo ATM, Gestión de Información Aeronáutica AIM, Servicio de Meteorología Aeronáutica MET, Servicio de Búsqueda y Salvamento SAR y por último los servicios de Comunicación, Navegación y Vigilancia CNS.

Este escenario académico nos muestra una formalidad y una no formalidad de la educación que se imparte al talento humano del sector, que deja entrever posibles brechas de calidad y pertinencia respecto de las necesidades del sector productivo en relación con las competencias exigidas para un buen desempeño y las posibilidades de innovación. De igual forma, como lo planteó el MEN (2018) “cada uno de estos niveles se encuentra organizado de forma independiente y presenta una fragmentación legal, revelando la ausencia de una visión sistémica de la educación”. (p.)

Esta desarticulación se ve reflejada también, en el enfoque curricular siendo notorio que en el nivel de ETDH el enfoque es por competencias, y el de educación superior y los CIAC continúa siendo por objetivos. De igual manera, se presentan confusión con las denominaciones del nivel técnico existiendo los siguientes ámbitos (MEN, 2018):

- Título de Técnico profesional de la educación superior.
- Certificado de Aptitud Ocupacional en Técnico laboral por competencias de ETDH.
- Certificado de Técnico laboral de formación profesional integral del SENA. (p.)

Y en el caso de la aviación el Técnico en línea de aviones, helicópteros y otros.

Así, la palabra técnico como denominación de cualificación se emplea indistintamente para referir a un profesional de un nivel medio alto, como lo son los graduados de la educación superior, o para hacer alusión a un trabajador de una cualificación media o inferior como pueden serlo auxiliares y operarios de distintos sectores.

Todos estos antecedentes condujeron a la UAEAC a formular en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030 como objetivo estratégico “Fortalecer la gestión del conocimiento para lograr el desarrollo integral y sostenible del talento humano, en línea con el crecimiento de la aviación civil en Colombia”. (UAEAC, 2018, p. 29)

Para cumplir con el objetivo estratégico se plantean cuatro (4) objetivos específicos dentro de estos se planteó el de (UAEAC, 2018) “Cualificar el talento humano desarrollando el Marco Nacional de Cualificaciones de la Aviación Civil para asegurar las competencias y propiciar la movilidad laboral en el país y en la región” (p. 31), con este objetivo se daba el reconocimiento de (Arbizu, 2015 “un instrumento que articule la educación y la formación para el trabajo, al tiempo que se exprese el consenso de los actores involucrados sobre la estructura y clasificación de las cualificaciones en niveles, y sobre las equivalencias y rutas de progresión de las personas a través de dichos niveles” (p.10)). Además, que poseía una metodología validada y experimentada en varios países y en Colombia en diferentes sectores productivos.

Cabe resaltar otro propósito nacional que fundamenta la necesidad de desarrollo del Marco de Cualificaciones de la Aviación Civil, y es la iniciativa de la Vicepresidencia de la República a través de la formulación del pacto por el crecimiento y para la generación de empleo del sector de industrias del movimiento dentro de las cuales se encuentra el sector aeronáutico en el cual se plantea la problemática de deficiencia de capital humano técnico y tecnológico en cantidad y pertinencia.

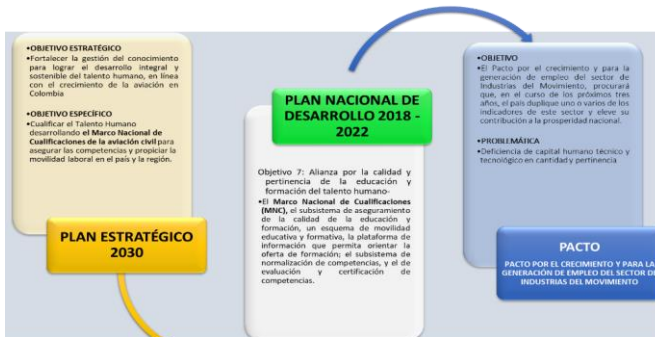


Ilustración 7 Elaboración CEA.

Relacionados los antecedentes y fijado el objetivo específico, el Centro de Estudios Aeronáuticos planteó un proyecto de investigación que realizaría en conjunto con los aliados estratégicos: Ministerio de Educación y Ministerio de Trabajo, entidades que poseen la trayectoria y el procedimiento para acompañar la investigación. Se definió así el objetivo del proyecto:

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Definir las cualificaciones que se deben establecer como Marco Nacional de la Aviación Civil para responder al direccionamiento estratégico 2030 y al Plan Nacional de desarrollo 2018 – 2022 en materia de desarrollo integral y sostenible del Talento Humano del sector.

Y se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el sector de la aviación civil para tener un referente de su representatividad en el país y las variables que promueven su desarrollo a través del análisis de las tendencias nacionales e internacionales, la normatividad que lo regula y su dinámica ocupacional.
- Identificar las brechas de capital humano que se presentan en el sector de la aviación civil en relación con la cantidad, calidad y pertinencia de las para efecto de reconocer las variables que afectan el equilibrio entre la oferta y la demanda laboral.
- Definir el sistema de valor del sector aeronáutico, estableciendo: la misionalidad de cada uno de los actores y su contribución de valor al mismo, las articulaciones clave entre estos y las cadenas de valor (procesos y subprocesos) de cada uno de ellos y la correspondiente definición del conocimiento necesario para estar dentro de las mejores prácticas.
- Estructurar las cualificaciones a partir de la caracterización del sector, de la definición del sistema de valor y sus procesos misionales, de las brechas de capital humano para orientar los diseños curriculares de los programas académicos orientados hacia el sector de aviación civil.
- Los objetivos propuestos fueron planteados en correspondencia con la ruta metodológica planteada por el Ministerio de Educación Nacional.

De igual forma, en atención al cumplimiento de la ruta metodológica, se definieron los roles de los actores clave para cumplir con todos los propósitos antes expuestos:

## Roles de los actores del proyecto

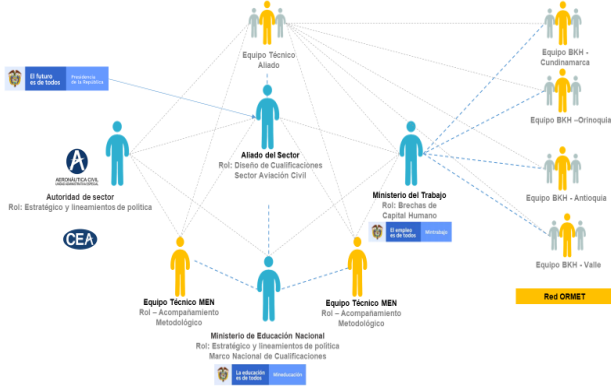


Ilustración 8 Equipo Técnico MNC/MEN – CEA.

Definidos los roles, se determinó iniciar en el año 2020 las tres primeras etapas: caracterización del sector, identificación de brechas de capital humano y delimitación de las áreas funcionales y ocupacionales, y en el 2021 se continuará con la estructuración de las cualificaciones.

El estudio se llevará a cabo en seis (6) subsectores reconocidos a través de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia RAC, a saber:

- Regulación – certificación y vigilancia (Autoridad Aeronáutica).
- Construcción y reparación de aeronaves y partes (fabricación y mantenimiento).
- Explotadores de servicios aéreos.
- Servicios a la Navegación Aérea (ATM – AIM – CNS – MET – SAR).
- Servicios aeroportuarios especializados de apoyo terrestre a la operación de aeronaves.
- Seguridad de la aviación civil – AVSEC.

A través de la siguiente gráfica, se pueden observar los subsectores de manera más amplia

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

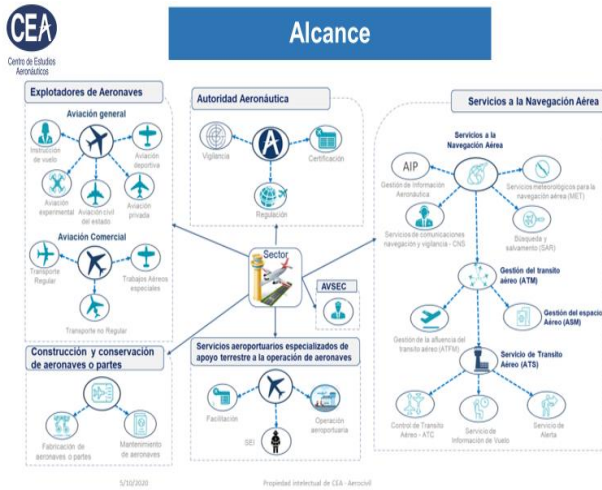


Ilustración 9 Elaboración CEA.

Luego, el CEA seleccionó cuatro (4) regiones de estudio: Antioquia, Cundinamarca, Orinoquía y Valle del Cauca, su selección obedeció a la representatividad del sector en las mismas.



Ilustración 10 Elaboración CEA.

Los resultados esperados se sintetizan en la siguiente gráfica y que resumen los diferentes estudios a través de cada una de las etapas del proyecto:



Centro de Estudios  
Aeronáuticos

### Caracterización del Sector

- Descripción del sector en Colombia y en el mundo.
- Planes, programas, proyectos, política pública
- Tendencias
- Proyección internacional
- Organización - segmentación

### Cadena de valor Sector

Mapa de procesos y Cadena de valor

## Principales Resultados

### Identificación de las Brechas de Capital Humano

Análisis de la Oferta Educativa

Análisis de Demanda Laboral

Prospectiva laboral.

- Brechas:**
- Cantidad
  - Calidad
  - Pertinencia



### Diseño de Cualificaciones

#### Mapa Ocupacional



#### Análisis funcional

Catálogo



Ilustración 11 Elaboración equipo técnico MNC/MEN – CEA.

Se espera que en el 2021 la Aeronáutica Civil, el Ministerio de Educación y el Ministerio de Trabajo entreguen al país el Catálogo de Cualificaciones para la Aviación Civil, que será el principal insumo para reorientar el proceso de formación del talento humano en pro de brindar al sector de la aviación talento humano con las competencias que requiere para su desarrollo y crecimiento y también propiciar la movilidad educativa y la movilidad laboral.

## Referencias

Amargós, O. (2018). PROETP2. Recuperado el 18 de octubre de 2020, de Análisis del Sistema de formación técnico profesional en el Marco Nacional de Cualificaciones de la República Dominicana: <http://proetp2.edu.do/wp-content/uploads/2019/11/Formaci%C3%B3nT%C3%A9cnica.Producto1.pdf>

Arbizu, F. (2007). ADIDE. Recuperado de Cualificaciones profesionales: bisagra entre el empleo y la formación.: <https://avances.adide.org/index.php/ase/article/view/297/443>

Arbizu, F. (2015). Marco nacional de cualificaciones para República Dominicana Bases. Santo Domingo: Ministerio de Educación de República Dominicana. Recuperado de [https://www.oitinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/marco\\_nac\\_rep\\_dom\\_0.pdf](https://www.oitinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/marco_nac_rep_dom_0.pdf)

Arbizu, F. (2016). Cualificaciones profesionales de la industria farmacéutica en el marco [Tesis doctoral]. España: Universidad Complutense. Facultad de Farmacia.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Arbizu, F. (25 de octubre de 2017). Recuperado de Reconocimiento social de competencias y crecimiento profesional. Hacia un marco de cualificaciones para América Latina: La experiencia europea: [http://www.redcompetencias.org/uploads/2/7/9/5/27952317/arbizu-hacia\\_marco\\_cualific\\_para\\_amlata-la\\_exper\\_europea.pdf](http://www.redcompetencias.org/uploads/2/7/9/5/27952317/arbizu-hacia_marco_cualific_para_amlata-la_exper_europea.pdf)

Arbizu, F. (22 de junio de 2017). Experiencias y lecciones aprendidas: desafíos y oportunidades en la formulación y desarrollo de marcos de cualificaciones en Europa. Obtenido de Oitcinterfor Org: <https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/marcoscuali-eurord-arbizu.pdf>

Bohlinger, S. (2007). Las competencias: elemento básico del Marco Europeo de Cualificaciones. Revista Europea de Formación Profesional (42), 102 - 120. Obtenido de <file:///C:/Users/fejud/Downloads/Dialnet-LasCompetencias-2556384.pdf>

Briasco, I. (2012). Briasco, I. (2012). Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Informe final: Paraguay: Sistema Nacional de Cualificaciones Profesionales. Recuperado, de <http://sia.eurosocial-ii.eu/files/docs/1412243881-Informe%20Eurosocial%20SNCP%20PARAGUAY.pdf>

CEDEFOP. (2014). Centro Europeo para el Desarrollo de Formación Profesional - CEDEFOP, 2014 Terminology of european education and training policy. Recuperado el de [https://www.cedefop.europa.eu/files/4117\\_en.pdf](https://www.cedefop.europa.eu/files/4117_en.pdf) p.

CIPEt. (2009). Corporación Iberoamericana de Educación para el Trabajo y el Desarrollo Humano CIPEt marco nacional de cualificaciones: el reto de las instituciones educativas. Recuperado el de <https://www.cipet.edu.co/marco-nacional-de-cua>

Congreso de Colombia. (2015). Ley 1753 Por la cual se expide el plan nacional de desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país. Colombia. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Normograma/Ley%201753%20de%202015.pdf>

Congreso de la República. (25 de mayo de 2019). Ley 1955 de 2018. Ley 1955 de 2018. Plan Nacional de Desarrollo. Colombia. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Ley1955-PlanNacionaldeDesarrollo-pacto-por-colombia-pacto-por-la-equidad.pdf>

ECTS. (2015). Oficina de Publicaciones. doi:10.2766/763090

García, J., & Bueno, A. (enero de 2009). ¿Qué importancia tiene la acreditación de Cualificaciones? Ensayos. Revista de la Facultad de Educación de Albacete. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=5823>

Guerrero, A. (2009). Universidad – Empresa – Estado Universidad Industrial de Santander Grupo de Investigación sobre Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial. Recuperado el 10 de octubre de 2020, de Udistrital: [http://planmaestroinv.udistrital.edu.co/documentos/PMICI-UD/unidadtransfer/UIS/UNIVERSIDAD%20-%20EMPRESA%20-ESTADO\(Vic%20Acad%C3%A9mica\).pdf](http://planmaestroinv.udistrital.edu.co/documentos/PMICI-UD/unidadtransfer/UIS/UNIVERSIDAD%20-%20EMPRESA%20-ESTADO(Vic%20Acad%C3%A9mica).pdf)

MEN. (2016). Ministerio de Educación Nacional. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de Catálogo de Cualificaciones Sector Aeronáutico: [https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-362821\\_recurso.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-362821_recurso.pdf)

MEN. (2018). Marco Nacional de Cualificaciones Informe Técnico. Ministerio de Educación Nacional. Recuperado de [https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-407760\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1780/articles-407760_recurso_1.pdf)

Menéndez, J. M. (30 de julio de 2009). OIT. Recuperado el 10 de octubre de 2020, de Marco de cualificaciones el caso español: porqués, logros, problemas y

reflexiones:

[https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_evento/ftfe\\_mc.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_evento/ftfe_mc.pdf)

MINEDUCACIÓN, MNC. (2017). INTRODUCCIÓN AL MNC COLOMBIA. Recuperado el 8 de octubre de 2020, de [https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-362828\\_recurso.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-362828_recurso.pdf)

OACI. (s.f.). Organización Internacional de la Aviación Civil. Recuperado el 16 de octubre de 2020, de Gestión de recursos humanos para la nueva generación de profesionales de la aviación mundial. Recuperado el 16 de octubre de 2020: <https://www.icao.int/safety/ngap/Pages/NGAP-Programme.aspx>

OECD, MINEDUCACIÓN. (2016). Revisión de políticas nacionales. Recuperado el 8 de octubre de 2020, de La educación en Colombia: [https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-356787\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf)

Oficina Internacional del Trabajo. (marzo 2005). Informe de la Comisión de Cuestiones Jurídicas y Normas Internacionales del Trabajo. Ginebra: OIT. Obtenido de <http://www2.ilo.org/public/spanish/standards/relm/gb/docs/gb292/pdf/gb-10.pdf>

Oficina Regional de Educación de la UNESCO. (2016). La enseñanza y formación técnico profesional en América Latina y el Caribe. Una perspectiva regional hacia 2030. Santiago: ONU. Recuperado el 18 de octubre de 2020, de Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. La enseñanza y formación técnico profesional en América Latina y el Caribe: una perspectiva regional hacia 2030.: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pdf0000260709>

OIT. (2004). Recomendación sobre el desarrollo de los recursos humanos. Recuperado el octubre de 2020, de [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/?p=NORMLEXPUB:12100:0:NO:P12100\\_ILO\\_CODE:R195](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/?p=NORMLEXPUB:12100:0:NO:P12100_ILO_CODE:R195) consultado en 2019

OIT. (2005). Recomendación 195. primera edición. doi: ISBN 92-2-316949-6

OIT. (mayo de 2019). marco de cualificaciones de Panamá estructura básica ministerio de trabajo y desarrollo local, banco de desarrollo de América latina CAF, OIT, etc. Recuperado el 6 de octubre de 2020, de [https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/Marco\\_MNC\\_seg.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/Marco_MNC_seg.pdf)

OIT. (mayo de 2019). Marco de cualificaciones de Panamá estructura básica ministerio de trabajo y desarrollo local, banco de desarrollo de América latina CAF, OIT, etc. Recuperado el 6 de octubre de 2020, de [https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/Marco\\_MNC\\_seg.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/Marco_MNC_seg.pdf)

OIT. (2020). OIT. Recuperado el 6 de octubre de 2020, de <https://www.oitcinterfor.org/recursos/mnc>

OIT. (2020). Organización Internacional del Trabajo. Recuperado el 31 de octubre de 2020, de Marcos de Cualificaciones: <https://www.oitcinterfor.org/recursos/mnc#:~:text=Un%20Marco%20Nacional%20de%20Cualificaciones,alcance%20regional%2C%20nacional%20y%20sectorial>

Pérez, F. (2010). CSIF. Recuperado el 15 de octubre de 2020, de Auto – evaluación de las competencias técnicas a través del catálogo nacional de cualificaciones profesionales CNCP: <https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf>



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Solís, C., Castillo, R., & Undurraga, T. (2013). Un marco de cualificaciones para la capacitación y la certificación de competencias laborales en Chile. *Calidad en la educación* (39), 241. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-45652013000200009>

Tuck, R. (2007). *An Introductory Guide to National Qualifications. Conceptual and Practical Issues for Policy Makers*. Suiza: International Labour Organization.

UAEAC. (2018). Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Recuperado el 15 de octubre de 2020, de Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, Plan Estratégico Aeronáutico: <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/II-FORO2030/Documents/2.%20Presentación%20Plan%20Estratégico%20Aeronáutico%202030.pdf>

UNESCO. (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Recuperado el 16 de octubre de 2020, de Declaración de Incheon: Educación 2030 hacia una educación inclusiva, equitativa de calidad y un aprendizaje a lo largo de la vida para todos.: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/pdf/ESP-Marco-de-Accion-E2030-aprobado.pdf>

Vargas, F. (2009). En F. Blass, & J. Planells, *Escenarios y tendencias en el mundo del trabajo y de la educación en el inicio del siglo XXI. Retos actuales de la educación técnico-profesional* (págs. 15 - 30). España: OEI - Fundación Santillana. Recuperado el 15 de octubre de 2020, de file:///C:/Users/Downloads/2009-Metas-Educacion-Tecnico-Profesional.pdf

Vargas, F., & Billorou, N. (2010). Recuperado el 16 de octubre de 2020, de Herramientas Básicas para el Diseño e Implementación de Marcos de Cualificaciones. Guía de trabajo: [https://www.oitcenterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/marco.pdf](https://www.oitcenterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/marco.pdf)

## Capítulo 2

### Centros de I+D+I en Colombia y en el sector aeronáutico

Alicia del Pilar Martínez Lobo<sup>6</sup>  
Andrés Felipe Fierro Russi<sup>7</sup>  
Diana Carolina Contreras Gutierrez<sup>3</sup>

#### Resumen

El siguiente capítulo se enmarca en el proyecto de investigación “Propuesta Conceptual: Creación del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Aeronáutica CEA”. La investigación se orienta en la realización de una categorización de los Centros de investigación básica y aplicada creados en el país para el fortalecimiento de las actividades de I+D+I. los cuales buscan generar aportes significativos a las diferentes áreas del conocimiento, que forman parte del SNCTeI. y de los centros de investigación que pertenecen al sector aeronáutico de entidades públicas.

Para ello, se realiza una revisión documental con el objeto de establecer el estado del arte, de los centros de investigación reconocidos en el país y aquellos creados por instituciones públicas orientados al desarrollo y fortalecimiento del área del conocimiento aeronáutico, el cual, como afirma Vargas y Calvo (1987) citado por Molina Nancy (2005) tiene como propósito inventariar sistematizar y reflexionar la creación o producción

---

<sup>6</sup> Alicia del Pilar Martínez Lobo. Magíster en Investigación y Educación, Psicóloga. Orcid: <https://orcid.org/my-orcid-> y CvLAC. <https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do>. Correo electrónico: [alicia.martinez@aerocivil.gov.co](mailto:alicia.martinez@aerocivil.gov.co) / [alicia.martinezlobo@gmail.com](mailto:alicia.martinezlobo@gmail.com). líder Grupo GINA. CEA

<sup>7</sup> Andrés Felipe Fierro Russi. Pasante. Pasante en el CEA / Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9202-9027>. y CvLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001817786](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001817786) Correo: [Andresfierrorussi@cedoc.edu.co](mailto:Andresfierrorussi@cedoc.edu.co) / [Andres.fierro@aerocivil.gov.co](mailto:Andres.fierro@aerocivil.gov.co) Estudiante investigador del grupo de investigación en aviación militar de la Escuela de Aviación del EJC, Estudiante de Ingeniería Aeronáutica

<sup>3</sup> Diana Carolina Contreras- Magíster en Gerencia y Desarrollo de proyectos, Administradora- Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8996-5348>. [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001456963](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001456963) Correo: [dianacontrerasgutierrez@cedoc.edu.co](mailto:dianacontrerasgutierrez@cedoc.edu.co). Investigadora grupo de investigación en aviación militUA EAC ar - ESAVE

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

establecida en un área del conocimiento, este ejercicio permite orientar al investigador en identificar y determinar las tendencias y vacíos que se presentan en ese campo del conocimiento estudiada. (p.74)

El estado del arte es entonces una propuesta metodológica documental utilizada como herramienta valiosa para la recopilación de información, reconocimiento e interpretación de la realidad, la cual, será la base y fundamento para la toma de decisiones en el campo específico del objeto de estudio de esta investigación.

**Palabras claves.** Centros de I+D+i, proyectos de investigación y desarrollo, producción científica y tecnológica

## Introducción

El sector aeronáutico congrega a diferentes actores públicos y privados que se encargan de prestar los servicios técnicos, materiales, de infraestructura, financieros y humanos para el desarrollo de actividades asociadas al transporte aéreo. Los cuales están conformados por la autoridad aeronáutica, los proveedores de servicios, la industria y las instituciones académicas.

La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil UAEAC es el ente regulador en Colombia, como autoridad reguladora plasma en su misión “Trabajamos por el crecimiento ordenado de la aviación civil, la utilización segura del espacio aéreo colombiano, la infraestructura ambientalmente sostenible, la conexión de las regiones entre sí y con el mundo, impulsando la competitividad y la industria aérea y la formación de un talento humano de excelencia para el sector” (UAEAC, 2020).

Acorde con esta misión, en el Plan estratégico Aeronáutico 2030 se visualiza a la Aeronáutica Civil como una entidad integral, líder e impulsadora de la aviación civil, del desarrollo aeronáutico y la formación profesional del talento humano del sector aeronáutico.

Dentro de los objetivos estratégicos del Plan Estratégico 2030, se plantea el Desarrollo del talento Humano en el Sector a través de (Salazar, 2019)“Fortalecer la gestión del conocimiento para lograr el desarrollo integral y sostenible del talento humano, en línea con el crecimiento de la aviación civil en Colombia”(p.29), en dos de sus objetivos específicos proyecta (Salazar, 2019)“consolidar la investigación en los campos aeronáuticos y aeroespaciales, con el apoyo de la industria, la academia y la cadena de investigadores integrados en un centro de investigaciones aeronáuticos”(p.31) así como (Salazar, 2019)“Promover la suscripción de convenios con entidades extranjeras, para propiciar el intercambio de experiencias y conocimientos” (p.31).

El Centro de Estudios Aeronáuticos CEA pertenece a la Unidad UAEAC y se encarga de la formación y capacitación del personal de la entidad y del sector de transporte - Modo Aéreo. A partir del año 2018 mediante resolución 2909 del 21 de febrero, el Ministerio de Educación Nacional autorizó la asignación del SNIES 9934 constituyendo adicionalmente al CEA en una Institución Universitaria. Motivo por el cual, debe propender por la formación en alta calidad para garantizar una infraestructura física y tecnológica, que permita el fortalecimiento permanente de las competencias académicas-científicas de su comunidad y apoye en el desarrollo de proyectos y actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) a los grupos de investigación y programas académicos en la dinamización de las líneas de investigación planteadas.

Coherente con su responsabilidad igual que el compromiso con el sector aeronáutico, la comunidad académica y el país, el CEA, se traza como reto la creación de un Centro de Investigación, desarrollo e innovación que dé respuesta a las necesidades y plantee soluciones a problemas inherentes a los diferentes campos del saber aeronáutico y la aviación civil.

En este capítulo se presenta los resultados de la búsqueda de información de los centros de I+D+I existentes en Colombia, reconocidos por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias) antiguamente Colciencias, “entidad pública encargada de “liderar, orientar y coordinar la política nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para generar e integrar el conocimiento al desarrollo social, económico, cultural y territorial del país” (Colciencias, 2020) y aquellos del sector aeronáutico que se enmarquen dentro del concepto de Centro de I+D+i planteado en la investigación. Se inicia con la conceptualización teórica, luego se hace una revisión por las áreas de conocimiento planteadas por la OCDE de los centros de I+D+i reconocidos por Minciencias para terminar con la identificación de aquellos reconocidos y no en el sector aeronáutico.

## **Marco Teórico**

La propuesta para la creación del Centro de I+D+i, se fundamenta en los requerimientos y objetivos planteados en el Plan de Navegación Aérea para Colombia, el cual se encuentra articulado con los objetivos institucionales de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, UAEAC en su Plan Estratégico Aeronáutico (PEA) y el Plan Estratégico Institucional (PEI) (UAEAC, 2020).

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

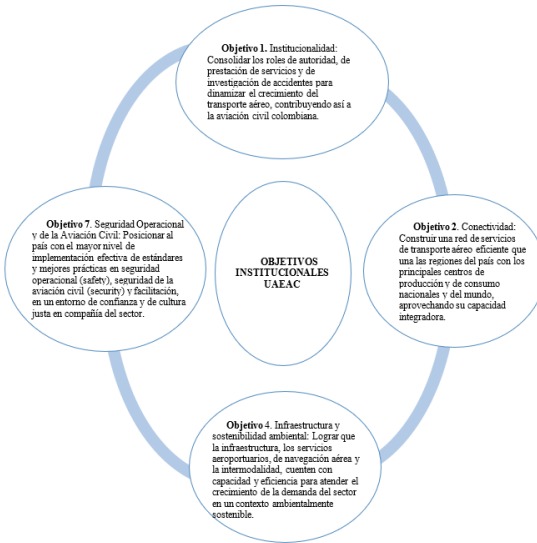


Ilustración 12 Objetivos institucionales Plan de Navegación Aérea para Colombia-2019.

Más específicamente, el Centro apoyaría directamente en el Plan estratégico 2020-2030 en sus objetivos estratégicos: “Desarrollo del Talento Humano en el Sector: “Fortalecer la gestión del conocimiento para lograr el desarrollo integral y sostenible del talento humano, en línea con el crecimiento de la aviación civil en Colombia” (UAEAC, 2020).

Por su parte, el Plan de Navegación Aérea para Colombia-2019. Orienta aspectos de cooperación técnica e investigación e innovación, como se muestra en la siguiente imagen.

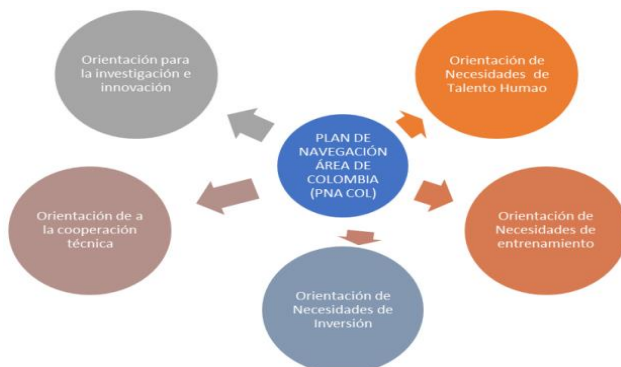


Ilustración 13 Orientación Técnica Plan de Navegación Aérea para Colombia.

Es así como, el enfoque de este capítulo se fundamenta en cuatro tópicos que permiten establecer los componentes importantes, primero se plantea la conceptualización de los centros, su categorización y propósito, segundo se definen los términos investigación, desarrollo e innovación, tercero se caracteriza también analiza los centros reconocidos por Minciencias y termina con la identificación de los centros de I+D+i públicos en el sector aeronáutico.

La investigación en la aeronáutica moderna es principalmente desarrollada por centros o corporaciones, ya sean dependientes o independientes y por universidades. A nivel mundial existen agencias gubernamentales que estudian la aeronáutica; entre las que se reconocen, la NASA, en los Estados Unidos, y la Agencia Espacial Europea, en Europa ESA en su sigla en inglés y ASE por su sigla en francés.

Los centros de I+D+i están vinculados a los diferentes sectores productivos y hacen parte de los actores que integran el Sistema de Ciencia, tecnología e innovación y establecen sus objetivos al desarrollo de proyectos de I+D+i que le permiten identificar, producir y difundir conocimiento científico y tecnológico, resultados que ayudan a consolidar la capacidad competitiva del país y mejorar el desarrollo social.

Minciencias es el ente rector de la investigación en el Colombia y reconoce como actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación a diferentes entidades que orientan sus funciones al desarrollo de actividades de I+D+I, dentro de las cuales establece la siguiente tipología: centros / institutos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, centros de innovación y producción, centros de ciencia, Unidades de I+D+I de empresas, oficinas de transferencia de resultados de investigación e incubadoras de empresas de base tecnológica. Dado estos actores, la investigación se orienta al análisis de los diferentes centros creados por instituciones del país, dedicadas al fomento y fortalecimiento de la investigación

Es importante definir el concepto de centros de acuerdo a su enfoque con el propósito de caracterizar los diferentes centros que se pueden desarrollar en el país, en el glosario de Minciencias se identifican los diferentes centros:

## **Centro de Investigación.**

Se definen como organizaciones públicas o privadas independientes, con personería jurídica, o dependientes de otra persona jurídica que tienen como misión institucional desarrollar diversas combinaciones de investigación (básica o aplicada) con líneas de investigación declaradas y un propósito científico específico. Los centros de investigación pueden prestar servicios técnicos y de gestión a sus posibles beneficiarios, pueden estar orientados a la generación de bienes públicos de conocimiento para el país, como también tener una orientación a la generación de conocimiento para la

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

competitividad del país y su aplicación mediante procesos de desarrollo tecnológico (Minciencias, 2018, pág. 4).

## **Centros de Ciencia**

Los cuales son considerados como: Instituciones de carácter público, privado o mixto, sin ánimo de lucro, con personería jurídica o dependientes de otra organización, con una planta física abierta al público de manera permanente y que tienen la Apropiación Social de la CTI (ASCTI) como parte integral de su misión u objeto social. Asimismo, reconocen la diversidad cultural, económica y social de las comunidades, promueven los principios de acceso democrático a la información y al conocimiento, y contribuyen a fortalecer la cultura CTel en el país mediante programas y actividades educativas (Minciencias, 2020).

Se categorizan en 5 tipos específicamente:

Bioespacios.

Espacios para las Ciencias exactas.

Espacios de construcción ciudadana en Ciencia.

Espacios mixtos. (Minciencias, 2020, p. 6)

Por lo anterior, se toma como referente teórico el concepto dado por Minciencias de los tipos de Centros de investigación, los cuales los categoriza en:

## **Centros de Desarrollo tecnológico (CDT)**

Definidos como: (...) organización pública, privada o mixta independiente que tiene como misión institucional desarrollar diversas actividades de investigación (básica o aplicada), con líneas de investigación declaradas y un propósito científico específico (Minciencias, 2020).

Para ello, cuentan con una masa crítica de personal de planta, disponen de equipos apropiados con su misión, realizan programas y proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico, transferencia de tecnología, prestación de servicios tecnológicos y extensión tecnológica. (Minciencias, 2018, p. 3)

Se clasifican en dos tipos:

### *Centros de investigación autónomos o independientes*

Los cuales se caracterizan por estar legalmente constituido, tener personería jurídica, autonomía administrativa y financiera. - Centros dependientes: los cuales están agregados a una entidad pública o privada, son constituidos legalmente mediante acto administrativo o documento que haga sus veces y no cuentan personería jurídica independiente (Minciencias, 2020).

Con respecto a su actividad, se orienta en la “investigación aplicada y desarrollo tecnológico, actividades de I+D+i y/o complementarias en la prestación de servicios científicos y tecnológicos, formación de personal para la investigación, asesoría y consultoría” (Minciencias, 2020).

Frente a los resultados principales reconocidos a este tipo de centros se encuentran los: “Productos tecnológicos certificados o validados; regulaciones, normas, reglamentos o legislaciones; licencias, contratos de comercialización de tecnología, nuevas variedades animales y vegetales” (Minciencias, 2020).

### *Centros de Innovación y Productividad (CIP)*

son organizaciones públicas o privadas sin ánimo de lucro, independientes con personería jurídica propia o dependientes de otra persona jurídica, establecidas en Colombia, cuyo objeto social es contribuir a la mejora de la competitividad y de la productividad del tejido empresarial del país a través de la mejora de los procesos y resultados de innovación, mediante el desarrollo de políticas, estrategias y programas como la prestación de servicios dirigidos (Minciencias, 2018, pág. 4).

El desarrollo de la actividad de este tipo de centro se orienta: a “Asesorías, consultorías, asistencia técnica, capacitación” y como “actividad I+D+i y/o complementarias: servicios científicos y tecnológicos, extensión tecnológica, divulgación científica, estudios especializados” (Minciencias, 2020, pág. 6).

### *Investigación, Desarrollo e Innovación. I+D+I*

Ahora bien, teniendo claro la clasificación y tipo de centros establecidos por Minciencias es también importante abordar entonces los conceptos de investigación, desarrollo e innovación, cuyas siglas son I+D+i usados permanentemente en el contexto de este tipo de organizaciones.

Las definiciones más aceptadas a nivel mundial de la terminología I+D+I son las plasmadas en el Manual de Frascati, sus conceptos los avalan hasta países no miembros de la Organización y Cooperación para el



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Desarrollo Económico OCDE. Dado que Colombia a partir del 26/04/2020, se convirtió en el país 37 como miembro formal, se toma los conceptos de I+D+i propuestos por la organización.

La investigación es entendida como, el quehacer inherente al desarrollo del pensamiento, es un proceso intelectual y experimental que comprende un conjunto de métodos aplicados de modo sistemático, con la finalidad de averiguar, analizar y profundizar a cerca de una temática en un área de conocimiento específico y tiene como objetivo ampliar o desarrollar su conocimiento, sea este de interés científico, humanístico, social o tecnológico. Su ejercicio posibilita el descubrimiento pues la orientación de los procesos que están presentes durante toda la construcción, desarrollo del conocimiento humano, existen principalmente dos tipos de investigación. la investigación básica o pura y la investigación aplicada.

La investigación básica se enfoca en el desarrollo de conocimiento nuevo, permite la generación de teorías, por sí sola no da solución a problemas, se orienta a responder acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. (Contraloría de Bogotá D.C., 2013, pág. 11)

Y la investigación aplicada, consiste “en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos” (OCDE, 2015, pág. 47), no obstante, busca dar respuesta a necesidades de problemáticas evidenciadas, por lo que está dirigida principalmente hacia un objetivo práctico específico. Toma como referente la investigación básica para fundamentar la solución al problema.

Con relación al desarrollo tecnológico, se centra en las acciones orientadas a la creación, adaptación y transmisión de tecnología e investigación aplicada destinada a generar mejoras competitivas del sector productivo.

Por su parte, la innovación, nace de la economía del conocimiento y los recursos intelectuales como fuentes de competitividad, está asociada al mercado, al impulso de la economía de las empresas, regiones y gobiernos. Este concepto de innovación ha evolucionado con el paso del tiempo, pasando de una conceptualización inicial dentro del desarrollo de productos, hasta reconocer las innovaciones en los servicios y en las innovaciones de los procesos dados al interior de las organizaciones.

A saber, el término I+D entonces, abarca, además de actividades de investigación básica y aplicada, las actividades de desarrollo experimental, que como lo plantea (OCDE, 2015).

Consiste en trabajos sistemáticos fundamentados en los conocimientos existentes obtenidos por la investigación o la experiencia práctica, que se dirigen a la fabricación de nuevos materiales, productos o dispositivos, a establecer nuevos procedimientos, sistemas y servicios, o a mejorar considerablemente los que ya existen. (p.49).

La actividad de I+D según el Manual de (Frascati 2015) deben cumplir con cinco criterios novedosa, creativa, incierta, sistemática, transferible y/o reproducible. Se debe diferenciar el concepto de desarrollo experimental del concepto desarrollo del producto (OCDE, 2015) “que es el proceso general, desde la formulación de ideas y conceptos hasta la comercialización, orientado hacia la introducción de un nuevo producto (bien o servicio) en el mercado” (p.53).

Otro aspecto que se debe tener muy presente en las actividades de I+D es la clasificación de las unidades de ejecución de la I+D y distribuir sus recursos en función del ámbito de conocimiento en el que se lleva a cabo. Es así como igualmente los centros son clasificados según La propuesta de las áreas de conocimiento de la OCDE, establecidas en la Manual Frascati (2025) toma como referente la clasificación de los campos de I+D planteada por FORD (Concytec, s.f.) las cuales las caracteriza en 6 áreas principales y cada uno la clasifica en secundarias.

Para el desarrollo de este capítulo e interés de la investigación, los centros se enmarcan en el área de conocimiento planteada según la OCDE de Ingeniería y tecnología y el área de las ciencias sociales

## Metodología

Es una investigación documental, se hizo una búsqueda y selección de documentos, donde se utilizaron diferentes fuentes de información, desde el uso de base datos académicas y científicas especializadas, hasta la búsqueda en internet a través de Google, donde se pudo identificar información y documentos asociados al campo del conocimiento de la investigación. Se tomó como criterio para la búsqueda el empleo de palabras claves orientadoras a la temática analizada. Centros de investigación, desarrollo, planeación estratégica I+D+I, actores de investigación, sistema de ciencia, tecnología e innovación. reconocimiento de centros I+D. descriptores que permitieron identificar documentos científicos y académicos que profundizaron sobre la temática de estudio de esta investigación.

Como fuentes primarias se tomó información de Minciencias sobre los centros reconocidos en el país a junio 2020. así como se diseñó y aplicó una encuesta a las entidades públicas del sector aeronáutico para identificar la existencia de centros de investigación orientados a esta área de conocimiento.

Una vez compilada la información se realizó por parte de los autores una lectura crítica y selectiva de los documentos. Para ello, se utilizó la metodología DESLIZAR planteada por Maeda, (2006) en su teoría de la simplicidad, que establece 4 pasos importantes, “ordenar, rotular, integrar y priorizar”, la cual, permite que se haga una clasificación de los textos, que consiste en la elaboración de un guion para estructurar la información desde

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

lo complejo a lo sencillo, aplicando la ley de la simplicidad, mediante la reducción razonada.

En este orden de ideas, se inició con la reducción de la información seleccionada, deslizando los documentos, con la supresión de aquellos textos no relevantes, luego se ejecutó una matriz por grupos temáticos y características comunes. Elaborando así el paso 1. Ordenar.

Para el paso 2. Rotular, se colocó en la matriz documental una identificación por colores a cada grupo, según la temática y cronología teórica. Con los grupos estructurados y clasificados se pasó a la fase 3. Integrar, que consistió en articular por autores y conceptos, y por último la fase de Priorizar la información según la organización preestablecida para la redacción y presentación del capítulo.

## Resultados

Como resultado de la búsqueda se hizo un registro de un promedio de 70 documentos, de los cuales, según la agrupación, codificación, se pudo simplificar la información a 50 documentos tanto de fuentes primarias, secundarias como terciarias.

Se seleccionaron y clasificaron los documentos más relevantes que permiten establecer la fundamentación y argumentación desde las áreas temáticas planteadas para la estructura de los referentes teóricos, soporte de la investigación en el marco del proyecto “Propuesta Conceptual: Creación del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Aeronáutica CEA” identificado con el código 1046411-O.

Para el diseño de la matriz documental, se estructuró en una página de Excel el esquema con los campos necesarios para el registro e identificación de la revisión teórica.

Tabla 2 Esquema Matriz documental. Elaboración propia de los autores..

Documento	Fecha	Interpretación	Referencia	Título	Autores	Concepto	Pág.	URL
-----------	-------	----------------	------------	--------	---------	----------	------	-----

La siguiente matriz permitió a los investigadores categorizar los diferentes textos, identificar aquellos que aportan directamente a responder la pregunta de investigación, a construir el estado del arte, los marcos teóricos soportes y responder a cada uno de los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto.

Ahora bien, tomando como referente la conceptualización de Centro de desarrollo e innovación planteado en este documento, se establece los existentes según el reporte que, para junio del 2020, Minciencias relaciona

68 centros reconocidos, los cuales se relacionan en la siguiente gráfica. Según la tipología planteada anteriormente en este documento.



Ilustración 14 Minciencias.

[https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento\\_de\\_actores](https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores). Elaboración propia.

Al evaluar los centros con relación al sector productivo al que se enfocan, se pudo establecer que en el área de la salud es donde más centros se han reconocido, 16 seguido por 9 de ingeniería por las ingenierías y las áreas sociales y de educación.

Para contextualizar los centros reconocidos a nivel nacional se propone una ilustración estadística de la ubicación de estos con las concentraciones en porcentajes sobre el total de los centros reconocidos, descritos en la siguiente gráfica.

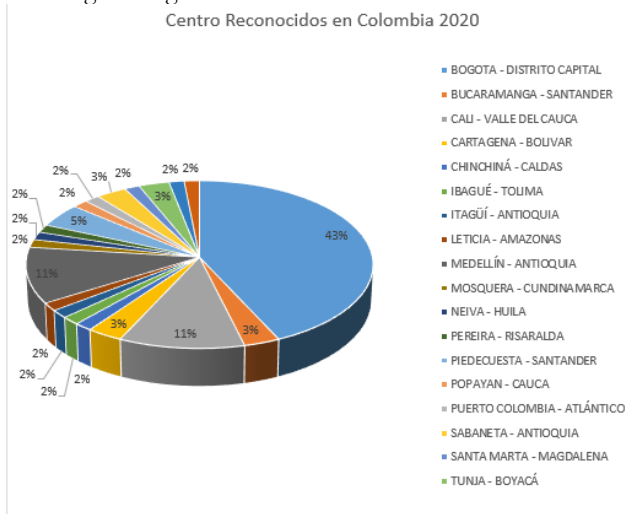


Ilustración 15 Minciencias. Elaboración propia.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Cerrando el campo de búsqueda de los centros pertenecientes al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación enfocándose en el sector aeronáutico, según el listado publicado por Minciencias, se puede determinar que en el Sector Defensa existe el Centro de Investigación autónomo Corporación de Alta Tecnología para la Defensa – Codaltec, fue reconocido por Colciencias en septiembre de 2018 como actor del sistema (Minciencias, 2020). Orienta sus investigaciones al desarrollo tecnológico e innovación de productos en el sector defensa y privado con tecnologías de aplicación dual, como lo plasma en su página web (Codaltec, 2020). Con sus capacidades responde a necesidades de la Fuerza Aérea Colombiana y la industria aeronáutica.

Continuando con esta ruta de búsqueda de información de centros de I+D+i orientados al área del conocimiento aeronáutico en el país, se pudo evidenciar, por parte de los autores, que existen centros de investigación, desarrollo o innovación que no son a la fecha reconocidos por Minciencias, que fomentan y participan con el desarrollo de proyectos para el sector aeronáutico y aeroespacial generando producción científica y tecnológica en el país. En la siguiente tabla se puede identificar aquellos centros del sector aeronáutico.

Tabla 3 Centros de Investigación públicos del sector Aeronáutico. (Fuerza Aérea Colombiana, 2016) & (Ejército Nacional, 2020). Elaboración propia.

Nombre	Entidad	Enfoque / campo de acción
Centro de desarrollo tecnológico Aeroespacial para la defensa CETAD	Fuerza Aérea Colombiana	Desarrollo aeronáutico y espacial
Centro de investigación en tecnologías aeroespaciales CITAE		Desarrollo aeronáutico y espacial
Centro tecnológico de innovación aeronáutica CETIA		Diseño, Desarrollo y Certificación de Productos Aeronáuticos Tipo I, II y III, Impulso a la Industria Aeronáutica. Sistemas Aeronáuticos y Complementarios. Gestión de la Innovación Tecnológica, Nanotecnología. Sistemas de Detección, Identificación y Neutralización. Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS). Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Sistemas de Alerta Temprana. Sistemas de Vigilancia Activa y Pasiva.
Centro de Investigaciones biomédicas y espaciales CIBAE		Enfoque biomédico aeroespacial
Centro de Investigación en Aviación Militar	Ejército Nacional	Enfoque Aeronáutico
Centro de Desarrollo Tecnológico de Aviación del Ejército		Procesos tecnológicos, industriales y de calidad

Por su parte, al explorar con las universidades que ofertan programas académicos específicos en el campo del conocimiento aeronáutico y aeroespacial, se identificó que ellas orientan sus esfuerzos en la creación y fortalecimiento de grupos de investigación, los cuales, desarrollan sus proyectos entorno a las líneas de investigación en las ciencias básicas y

aplicadas asociadas a sus saberes, con el propósito de ampliar sus capacidades de investigación y generar producción resultado de estas y que les permitan lograr el reconocimiento y categorización en las convocatorias de medición de grupos por parte de Minciencias, pero no cuentan con centros de investigación, desarrollo o innovación como se definen y categorizan en el SNCTEi del país.

## Conclusiones

- El Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación del país se encuentra regulado por MinCiencias, dentro de sus competencias tiene la de establecer los criterios para el reconocimiento de los diferentes actores que cumplen actividades de investigación, ciencia y tecnología.

- Los Centros de I+D+i reconocidos en el país orientados al área del conocimiento de las ingenierías corresponde al 13.23% del total, sin embargo, no se identifican por subáreas que permitan identificar los que estén orientados exclusivamente al sector aeronáutico y aeroespacial.

- Es evidente en los resultados de clasificación de Centros por ubicación, una centralización de las actividades de ciencia y tecnología en Bogotá, con el 43% de los Centros, es necesario que se generen alianzas para fortalecer la ciencia y tecnología en las regiones.

- Ante la insuficiencia de Centros de I+D+I en el sector aeronáutico en Colombia y aún más la no existencia de centros que cubra el campo de la aviación civil, es importante hacer una revisión a nivel internacional que permita identificar sus capacidades y líneas de investigación.

En la clasificación de las áreas del conocimiento, el sector aeronáutico no se encuentra delimitado, este campo del conocimiento específico queda inmerso en las ingenierías en general y en el mismo la clasificación aeroespacial, es fundamental que el sector, busque e identifique sus áreas de conocimiento y establecer las tendencias propias del sector.

## Referencias

Codaltec. (12 de septiembre de 2020). CODALTEC Corporación de alta tecnología. Obtenido de [www.codaltec.com/](https://codaltec.com/)

Colciencias. (14 de 05 de 2020). Colciencias. Obtenido de [legadoweb.minciencias.gov.co/sobre\\_colciencias](https://legadoweb.minciencias.gov.co/sobre_colciencias):

[https://legadoweb.minciencias.gov.co/sobre\\_colciencias](https://legadoweb.minciencias.gov.co/sobre_colciencias)

Concytec. (s.f). 03. (Concytec, Editor) doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>

Contraloría de Bogotá D.C. (Julio de 2013). [www.contraloriabogota.gov.co](http://www.contraloriabogota.gov.co). Obtenido de [www.contraloriabogota.gov.co](https://cutt.ly/zgPSbXE): <https://cutt.ly/zgPSbXE>

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Ejército Nacional. (2020). Centros de investigación. Bogotá: Ejército Nacional. Recuperado el 14 de 09 de 2020

Fuerza Aérea Colombiana. (2016). Capacidades del sistema de ciencia, tecnología e innovación del sector defensa y seguridad. Bogotá D.C: Jefatura de Educación aeronáutica. Recuperado el 05 de 09 de 2020

Maeda, J. (2006). Las leyes de la simplicidad. Barcelona: Gedisa. Recuperado el 25 de 08 de 2020

Maeda, J. (2006). Las leyes de la simplicidad. Barcelona: Gedisa.

MinCiencia. (08 de 07 de 2020). Recuperado el 01 de 08 de 2020, de [https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento\\_de\\_actores](https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores)

Minciencias. (2018). Minciencias. (Minciencias, Ed.) Recuperado el 16 de 09 de 2020, de [Minciencias.gov.co](https://minciencias.gov.co): <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/glosario-colciencias2018.pdf>

Minciencias. (14 de agosto de 2020). Recuperado el 05 de 09 de 2020, de Guía técnica para el reconocimiento de centros de ciencia: [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/m304pr08g06\\_guia\\_tecnica\\_para\\_el\\_reconocimiento\\_de\\_centros\\_de\\_ciencia\\_v00\\_0.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/m304pr08g06_guia_tecnica_para_el_reconocimiento_de_centros_de_ciencia_v00_0.pdf)

Minciencias. (2020). Actores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación reconocidos por minciencias. Bogotá. Recuperado el 14 de 09 de 2020

Minciencias. (15 de julio de 2020). Reconocimiento de actores. Recuperado el 05 de 09 de 2020, de Guía técnica para el reconocimiento de centros de desarrollo tecnológico y centros de innovación y productividad: [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/guia\\_tecnica\\_actualizada\\_cip.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/guia_tecnica_actualizada_cip.pdf)

Minciencias. (14 de agosto de 2020). [www.minciencias.gov.co](http://www.minciencias.gov.co). Obtenido de Guía técnica para el reconocimiento de centros de ciencia: [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/m304pr08g06\\_guia\\_tecnica\\_para\\_el\\_reconocimiento\\_de\\_centros\\_de\\_ciencia\\_v00\\_0.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/m304pr08g06_guia_tecnica_para_el_reconocimiento_de_centros_de_ciencia_v00_0.pdf)

OCDE. (2015). Manual Frascati. Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. Paris, Francia: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT, 2018. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264239012-en.pdf?expires=1654810837&id=id&accname=guest&checksum=F92C7219697047D2F21DEA9E1C5284C3> doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012>

Salazar Gómez, J. C. (2019). Plan Estratégico Aeronáutica 2030: Una visión para el Sector Aeronáutico. Presentación Una visión para el sector aeronáutico. Presentación II Foro. Bogotá D.C: UAEAC.

UAEAC. (25 de 02 de 2020). Aeronáutica Civil Unidad Administrativa Especial. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/Documents/>: <https://cutt.ly/mgTajrb>

UAEAC. (12 de 08 de 2020). AERONÁUTICA CIVIL. UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/>: <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/mision>

UNESCO. (2016). Políticas de Ciencia, Tecnología, e Innovación Sustentable e Inclusiva en América Latina. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19966.38725>

Vargas, G., & Calvo, G. (1987). Educación superior y desarrollo, 9. Recuperado de





La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## Capítulo 3

# Desarrollo arquitectural de un módulo de visualización del estado operacional de la infraestructura de sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) para el apoyo en la toma de decisiones en colaboración (CDM)

Investigadores:  
Jhon Sabogal Corredor  
Alexandra María Rincón Meza  
Pasante:  
Yulean Ríos Velandia <sup>8</sup>

## Introducción

El transporte aéreo funciona actualmente gracias a la enorme cantidad de aeronaves que viajan a través del espacio aéreo, a distintas altitudes expresadas en miles de pies, tanto de día como de noche y en diferentes condiciones meteorológicas. Esto es posible gracias a los equipos de navegación a bordo de la aeronave que por si solos no permiten la navegación aérea y por lo mismo requieren de una infraestructura de **navegación** en tierra que les provea una referencia de vuelo para llegar de manera segura a su aeropuerto de destino.

Ahora bien, para que las aeronaves puedan volar de manera segura se requiere también de una infraestructura de **comunicaciones** aire-tierra que les permita comunicarse con el control de tránsito aéreo y recibir las instrucciones adecuadas para mantenerse separadas y evitar colisiones entre sí.

Por último, para que el control de tránsito aéreo provea las instrucciones adecuadas a todas las aeronaves que vuelan en un espacio aéreo

---

<sup>8</sup> [jhon.sabogal@aerocivil.gov.co](mailto:jhon.sabogal@aerocivil.gov.co) Investigador. Controlador Aéreo e Ingeniero Electrónico.

[alexandra.rincon@aerocivil.gov.co](mailto:alexandra.rincon@aerocivil.gov.co) Investigadora. Magister en Seguridad y Defensa Nacionales.

[yuleangabri@gmail.com](mailto:yuleangabri@gmail.com) Investigador. Ingeniero de Sistemas.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

determinado, se requiere una infraestructura de **vigilancia**, a través de la cual los controladores aéreos pueden ver las aeronaves en tiempo real en sus pantallas de radar y vigilar sus trayectorias de vuelo.

La operación y gestión en conjunto de la infraestructura de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia que facilita el funcionamiento del transporte aéreo se conoce como los sistemas CNS (Communication, Navigation and Surveillance). De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) los sistemas CNS constituyen el requisito indispensable para la provisión de los servicios a la navegación aérea, gracias a estos servicios es que son posibles los millones de vuelos que a diario se realizan en todo el mundo.

En Colombia la entidad encargada de la regulación, implantación y mantenimiento de la infraestructura CNS es la Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil (UAEAC) conocida como UAEAC, para lo cual dispone de distintos sistemas que se encargan de verificar el estado actual de la infraestructura y el nivel operacional de la misma.

La UAEAC cuenta con dos sistemas de información específicos:

Sistema de Información y Gestión del Mantenimiento Aeronáutico (SIGMA).<sup>9</sup>

- Sistema de Información Aeronáutica-Gestión de la Información Aeronáutica (SIA-AIM).
- Sistema de Información de Mantenimiento Operacional Aeronáutico - SIMOA.

Estos dos sistemas no interactúan de manera directa, sin embargo, la información que gestionan es indispensable en los servicios a la navegación aérea y es necesario que esté disponible en todo momento para la toma de decisiones relacionadas con la operatividad de los distintos servicios a la navegación aérea.

Así es como en la UAEAC surge la necesidad de disponer de un sistema que se alimente de los sistemas SIGMA y SIA/AIM, integre los datos y la información de sus diferentes procesos de este modo presenta visualmente el estado operacional de la infraestructura CNS con el fin de mejorar la gestión de los servicios a la navegación aérea del mismo modo toma de decisiones consensuadas.

Los sistemas CNS y la necesidad de diseñar la visualización del estado operacional de su infraestructura para la toma de decisiones en colaboración

Es necesario iniciar con el contexto institucional, resaltando que la misión de la UAEAC es propender por el crecimiento, mejoramiento de la aviación, el uso seguro del espacio aéreo, el transporte aéreo nacional e internacional de esta forma fomentó de la competitividad del sector. Para ello la UAEAC se ha trazado un plan denominado Visión 2030 por medio del cual proyecta movilizar 100 millones de pasajeros y duplicar el transporte de carga aérea en el año 2030, buscando generar competitividad, seguridad

---

<sup>9</sup> Actualmente, el sistema SIGMA está siendo reemplazado por el nuevo sistema SIMOA.

y sostenibilidad a través de la renovación de su infraestructura, apoyo a la industria y la excelencia de su talento humano (UAEAC, 2019).

En este mismo sentido, la institución se ha planteado los siguientes objetivos:

- Institucionalidad: Consolidando y proyectando su papel de autoridad, proveedor de servicios e investigador de accidentes aéreos.
- Conectividad: Mejorando y buscando la eficiencia de la red de servicios de transporte aéreo con todas las regiones del país y del mundo.
- Competitividad: Favoreciendo el crecimiento de la aviación y su productividad a través de políticas públicas adecuadas.
- Infraestructura CNS y aeroportuaria con sostenibilidad ambiental.
- Potenciar la Industria aeronáutica y toda su cadena de suministro, incluyendo piezas, partes y componentes aeronáuticos, sus servicios de mantenimiento más reparación tanto para aeronaves livianas como no tripuladas.
- Desarrollar, fortalecer la gestión del Talento Humano y su conocimiento en el sector.
- Mantener altos estándares de seguridad operacional, seguridad de la aviación civil y de facilitación.
- La transformación institucional a la modernidad introduciendo las mejores prácticas de gestión, desarrollo de su talento humano y reorganización administrativa de acuerdo con las políticas y lineamientos de la administración pública.

En concordancia con lo anterior, y para cumplir la reglamentación de la OACI la UAEAC ha implantado una vasta infraestructura de sistemas CNS para la navegación que en la actualidad es el cimiento de toda la operación aérea en Colombia, de modo que su mantenimiento y adecuada operabilidad es primordial para la provisión de los servicios de navegación aérea. Frecuentemente, la UAEAC debe inhabilitar la operación de una o más radio ayudas, sistemas de comunicaciones, radares o sistemas de vigilancia durante un tiempo específico para efectuar las labores de mantenimiento preventivo y/o correctivo. Lo anterior, sin lugar a duda, impacta la seguridad operacional y la gestión del espacio aéreo, puesto que el tránsito aéreo no se detiene y la dependencia proveedora de los servicios a la navegación, la Secretaría de Sistemas Operacionales (SSO) de la UAEAC en el caso colombiano, debe darse a la tarea de estudiar las rutas afectadas, los distintos puntos sin cobertura de comunicación y/o las zonas no vigiladas en el espacio aéreo, con el fin de identificar amenazas, mitigar sus riesgos y proveer una solución fiable. En consecuencia, es de vital importancia que la

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

información referente al estado operacional de los sistemas CNS se presente de manera oportuna, clara, de fácil acceso y veraz, con la intención de tomar las decisiones sobre qué equipos o sistemas pueden suspender su operación, ya sea por mantenimiento o reemplazo, en qué condiciones con respecto al tiempo y operatividad simultánea con otros equipos y cuál será el plan de contingencia para el normal funcionamiento del servicio de control de tránsito aéreo.

En todos los países adscritos a la OACI, la entidad proveedora de los servicios a la navegación aérea tiene personal encargado de tomar las decisiones con respecto a la operación de los sistemas CNS con base en un informe sobre el estado operacional actualizado de la infraestructura CNS, junto con los programas de mantenimiento, ampliación y reemplazo de todos los equipos involucrados teniendo en cuenta los distintos espacios aéreos. En el caso colombiano, este informe se obtiene a través del sistema de información vigente conocido como SIGMA que se encarga de reportar los estados operacionales de los sistemas CNS, infortunadamente por deficiencias administrativas y de carencia de recurso humano o, incluso, por la misma naturaleza del sistema SIGMA actualmente se utilizan informes elaborados manualmente por un operario en documentos físicos o archivos digitales de texto los cuales no favorecen la presentación adecuada y oportuna de la situación de la infraestructura de los sistemas CNS (figura 1). Si bien la intervención humana en la generación de dichos informes parece funcionar pues es inherente que la sistematización de estos procesos llega a ser más provechosa dando pie a la innovación y al desarrollo (Carrasco, 2017).

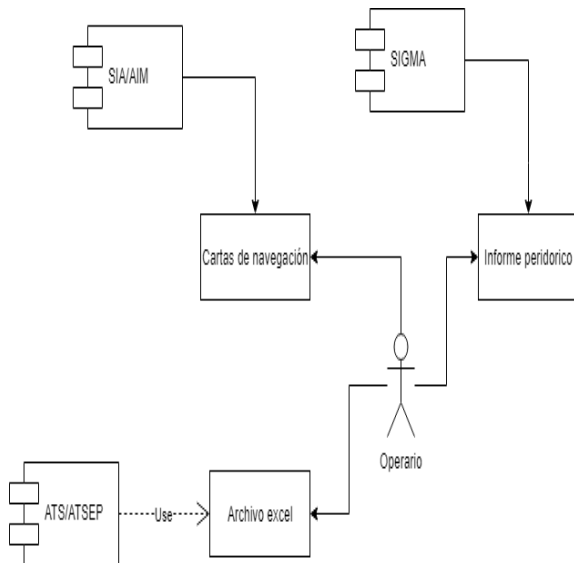


Ilustración 16 Funcionamiento actual de los sistemas de información, autoría propia.

En la actualidad estos informes son utilizados como soporte para la toma de decisiones sobre la gestión de los sistemas CNS dando como resultado que no se tenga una visión global clara y eficiente de la forma en que se afecta el Sistema Nacional del Espacio Aéreo (SINEA) y que haya un aprovechamiento limitado de los sistemas de información ya implementados en la UAEAC.

## **Surge la necesidad**

En la aviación civil, el criterio más relevante para la toma de cualquier decisión es el grado en que la misma impacta la seguridad operacional. Este criterio se emplea a nivel mundial y está claramente definido como “el estado en que el riesgo de lesiones a las personas o daños a los bienes se reduce y se mantiene en un nivel aceptable, o por debajo del mismo, por medio de un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos” (DOC9859OACI, 2006). A pesar de que es imposible lograr que cualquier actividad humana sea cien por ciento segura, la aviación civil exige que se tomen todas las medidas y procedimientos posibles que a la seguridad y que los mismos se soporten en las tecnologías de información y comunicaciones más avanzadas y confiables (Organización de Aviación Civil Internacional, 2011).

Para la OACI la gestión de la seguridad operacional en la aviación resulta un factor crítico en la provisión de los servicios a la navegación con el fin de mitigar los riesgos y amenazas presentes. El Plan Mundial de Navegación Aérea propuesto para los años 2016-2030 establece la normativa general para la gestión, mantenimiento y actualización de los sistemas CNS. A su vez la SSO de la UAEAC está en obligación de aplicar la norma global según su responsabilidad como entidad proveedora de los servicios a la navegación. Dentro del marco de la norma global la UAEAC tiene la responsabilidad de actualizar sus procesos y mejorarlos con la intervención de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) a fin de mitigar los riesgos y amenazas a la seguridad operacional (PMNA, 2018).

Con base en esta premisa la utilización de software para agilizar y optimizar procesos resulta inminente y por ello, aprovechando los sistemas de información SIGMA y SIA-AIM adquiridos e implementados por la UAEAC, y con el interés de proveer una solución a la necesidad identificada en la SSO, desde el grupo de investigación (GINA) adscrito al CEA en conjunto con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se ha propuesto el diseño arquitectural de un módulo que posibilite la visualización del estado operacional de la infraestructura de los sistemas

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

CNS con la meta de mejorar la gestión en la toma de decisiones que impactan directamente la seguridad operacional.

Dentro de la investigación desarrollada en el Centro de Estudios Aeronáuticos en el Grupo de Investigación Académica, se planteó como objetivo principal, dentro de un proyecto de investigación, el desarrollo arquitectural de un módulo de visualización que permita a la UAEAC el aprovechamiento de los sistemas de información dispuestos (SIGMA, SIA-AIM) presentando de manera gráfica la información sobre el estado operacional de la infraestructura de los sistemas CNS con el fin de reforzar la toma de decisiones con respecto al mantenimiento, gestión e implementación de medidas relacionadas con el servicio de control de tránsito aéreo y la seguridad operacional.

Así mismo, los objetivos específicos del proyecto de investigación son los siguientes:

- Desarrollar un módulo de visualización utilizando el lenguaje de definición arquitectónico Archimate que permita la visualización de la infraestructura CNS.
- Proponer una sinergia organizacional para la eficiente interacción de los distintos sistemas de información en la UAEAC (SIGMA y SIA-AIM).
- Facilitar la toma de decisiones en colaboración (CDM) por parte de los distintos Grupos pertenecientes a la secretaría de Sistemas Operacionales (SSO) de la UAEAC.

## **Marco teórico**

Como categorización del presente proyecto se encontraron los siguientes conceptos que componen la razón de la investigación y que merecen ser profundizados.

### **Sistemas de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS).**

Los sistemas de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS) hacen parte de la infraestructura aeronáutica, que es el conjunto de instalaciones y

servicios destinados a facilitar y hacer posible la navegación aérea de manera segura, rápida y confiable.

1. **Sistemas de Comunicaciones (Communication):** Los sistemas de comunicaciones permiten las comunicaciones Aire/Tierra para el intercambio de instrucciones, y otras informaciones entre pilotos y controladores. Normalmente se utilizan transmisores de radio en la banda de muy alta frecuencia (VHF) con modulación de amplitud (AM) (Jiménez, 2017). Los transmisores y receptores de radio se suelen instalar en lugares elevados (montañas, cerros, picos) para cubrir la mayor extensión posible del espacio aéreo y se interconectan por medio de enlaces de microondas con las dependencias de control como Centros de Control de Área (ACC) y Aproximación (APP) y Torres de control (TWR). Los sistemas de comunicaciones también permiten las comunicaciones Tierra/Tierra a través de enlaces de radio, satelitales y líneas telefónicas para el intercambio de mensajes y datos entre los ACC, APP y TWR.

2. **Sistemas de Navegación (Navigation):** La infraestructura de navegación está conformada por radio ayudas emplazadas en tierra de modo que sirven de referencia a los sistemas a bordo de las aeronaves para permitir la navegación aérea. Hacen parte de los sistemas de navegación aérea los siguientes:

- a) **Transmisor de Radiodifusión no Direccional (NDB)** (ya casi obsoleto): es una radio ayuda que se utiliza de manera similar a un faro, un radiogoniómetro (ADF) a bordo le permite a la aeronave utilizar su señal para determinar la dirección que debe volar hacia el sitio de emplazamiento del NDB. La señal transmitida no incluye información direccional inherente, como el VOR, pero las señales de las NDB siguen la curvatura terrestre, de modo que pueden ser recibidas a distancias mucho más grandes y a menores altitudes, una gran ventaja sobre el VOR.
- b) **Radiofaro Omnidireccional de VHF (VOR):** es una radio ayuda que le permite a la aeronave establecer rumbos hacia y desde el sitio de emplazamiento, pero también determinar su posición con respecto a los radiales (o direcciones en grados) generados desde el VOR. Es actualmente la radio ayuda en tierra más usada a nivel mundial para la navegación aérea.
- c) **Equipo Medidor de Distancias (DME):** es una radio ayuda que suele instalarse en conjunto con el VOR y que le permite a la aeronave determinar la distancia en millas náuticas (NM) a la que se encuentra del sitio de emplazamiento del DME; con la aviónica actual instalada a bordo de las aeronaves y la utilización de dos o más radio ayudas DME la información precisa sobre la posición de la aeronave en coordenadas geográficas es presentada a los pilotos en sus pantallas de navegación.



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

- d) Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS): estos sistemas están formados por constelaciones de satélites en órbita alrededor de la tierra cuyas señales son captadas y procesadas por los equipos a bordo de la aeronave así permitiéndole determinar su ubicación exacta en dos o tres dimensiones. Las constelaciones de satélites para la navegación aérea más importantes en operación son el GPS (americano), GALILEO (europeo) y GLONASS (ruso).
- e) Sistema de Aterrizaje por Instrumentos (ILS): esta radio ayuda está emplazada en las pistas de aterrizaje de los aeropuertos y consta de dos partes. La primera se denomina senda de planeo (GS) cuya función es brindar a la aeronave que aterriza el ángulo de planeo adecuado para descender y tocar el inicio de la pista de aterrizaje en el sitio adecuado, la segunda es el localizador (LLZ) cuya función es brindar una guía de rumbo de vuelo completamente alineado con el eje longitudinal de la pista. Dependiendo de la categoría del equipo, el sistema ILS constituye la principal ayuda de navegación para que una aeronave pueda aterrizar de manera segura en una pista en condiciones reducidas o limitadas de visibilidad por parte de los pilotos. Un sistema ILS está complementado con otros equipos tales como radiobalizas o DME para facultar a la aeronave establecer la distancia entre la misma y el inicio de la pista durante el tramo de aproximación.

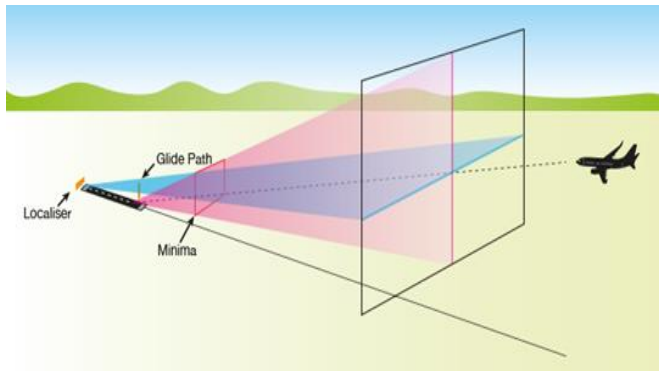


Ilustración 17 Sistema ILS. Internet.

- f) Otros equipos visuales de navegación: Las pistas de aterrizaje son dotadas con equipos complementarios que constituyen ayudas visuales para los pilotos como las luces de indicación de pendiente de planeo (PAPI), sistemas de luces de aproximación para aterrizaje (ALS), luces de borde y de eje de pista y luces de umbral. Los sistemas visuales conformados por

luces son los que permiten al piloto aterrizar de manera segura en la noche o en cualquier condición de visibilidad reducida por condiciones meteorológicas.

- g) Sistemas de Vigilancia (Surveillance): los sistemas de vigilancia están conformados por equipos de alta tecnología que delimita la posición exacta de las aeronaves en el espacio aéreo y proyectar dicha posición en pantallas de visualización a través de las cuales es posible proveer los servicios de control de tránsito aéreo que garantizan una separación vertical u horizontal segura entre todas ellas. Los sistemas de vigilancia también acceden a vigilar y controlar el movimiento de las aeronaves en las calles de rodaje, pistas y plataformas de los grandes aeropuertos, en estos casos se denominan sistemas de vigilancia de superficie estos son:
- h) Radar: Es el principal sistema que funciona para detectar la presencia de una aeronave en el espacio aéreo. Existen dos tipos: el radar primario de vigilancia (PSR: Primary Surveillance Radar) y el radar secundario de vigilancia (SSR: Secondary Surveillance Radar). El radar PSR radia ondas electromagnéticas que chocan y se reflejan en la superficie de la aeronave, el sistema calcula el tiempo de ida y vuelta de la señal reflejada también determina la posición de la aeronave de acuerdo con su azimut. El radar SSR requiere de un equipo de transmisión/recepción a bordo de la aeronave (transpondedor) el cual responde adecuadamente a las señales de interrogación enviadas desde el radar SSR, de esta manera puede determinar no solamente la posición de la aeronave, sino que también puede identificarla positivamente gracias a un código discreto de cuatro dígitos (octal) previamente asignado individualmente al transpondedor de cada una de ellas. Los radares PSR y SSR pueden ser de ruta, aproximación o superficie dependiendo de su radio de cobertura o alcance: 200 NM en los radares de ruta, 80 NM en los radares de aproximación y limitado a la superficie del aeropuerto en los radares de superficie. La utilización del equipo transpondedor permite a los radares SSR recibir la información de altitud (en pies) desde el altímetro de la aeronave y presentarla en las pantallas de visualización del tráfico a los controladores para vigilar la altitud o nivel de vuelo. Los equipos más modernos de transpondedor transmiten otras informaciones adicionales como el rumbo magnético de la aeronave, el régimen de ascenso o descenso y la velocidad con respecto al aire (IAS) las cuales son presentadas también en las pantallas de vigilancia.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

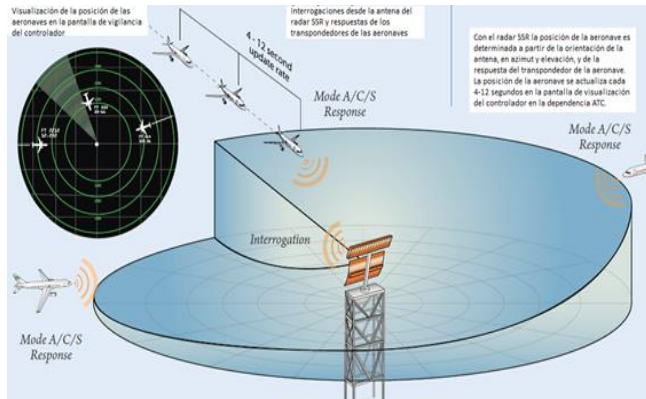


Ilustración 18 Funcionamiento del Radar SSR.

Fuente: (CREATIVERGE,2007).

- i) Sistema de Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast): El concepto ADS-B se basa en que a través de su equipo abordo las aeronaves en vuelo calculan su posición utilizando sistemas GNSS y luego la radio difunden. Estaciones ADS-B en tierra captan las radiodifusiones de las aeronaves asimismolas transmiten a las dependencias ACC, APP y TWR de los servicios de tránsito aéreo donde se visualizan en las pantallas de vigilancia. Esta tecnología permite recibir información de posición, altitud, rumbo, régimen de ascenso/descenso, velocidad IAS, entre otras, gracias a un canal de datos muy completo. La vigilancia a través del ADS-B representa una mejora significativa en comparación con los sistemas PSR/SSR debido a su mayor fiabilidad, precisión y calidad.

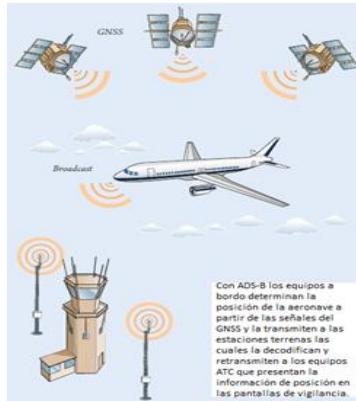


Ilustración 19  
Funcionamiento del ADS-B. Fuente: (CREATIVERGE, 2007).

- j) Multilateración (MLAT): Es un sistema de vigilancia que se basa en calcular la diferencia del tiempo de llegada (TDOA) de una respuesta de un transpondedor a tres o más estaciones terrenas cuya posición es conocida previamente. Teniendo en cuenta que la aeronave se encuentra a diferentes distancias de las estaciones terrenas, la respuesta de su transpondedor llegará a cada estación con una mínima diferencia de tiempo, estas diferencias son medidas y calculadas mediante técnicas de procesamiento computarizadas que permiten calcular una curva hiperbólica a partir de cada estación terrena. El punto de intersección de tres o más curvas hiperbólicas calculadas a partir de la posición conocida de las estaciones terrenas corresponde a la posición exacta de la aeronave.

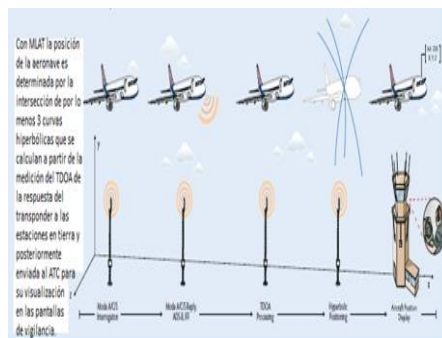


Ilustración 20 Funcionamiento del MLAT.  
Fuente:(CREATIVERGE, 2007)

## Herramientas de visualización geográfica para aviación

En el año 2016 la OACI en la revisión de su Anexo 15 resalta la importancia del acceso a la información que requiere la navegación aérea de manera ágil con el fin de mejorar los servicios de navegación y apoyar la seguridad operacional (OACI, 2016).

En Estados Unidos existe el programa NextGen (Next Generation Air Transportation System) liderado por la FAA (Federal Aviation Administration) cuyo objetivo es la modernización de todo el sistema de transporte aéreo incluyendo su infraestructura CNS haciéndolo más seguro, eficiente y predictivo. El programa NextGen continúa actualmente en desarrollo y se propone convertir el sistema de transporte aéreo de Estados Unidos en un sistema de nueva generación cumpliendo los requerimientos en cuanto a “seguridad, movilidad, eficiencia y medio ambiente” (Sistema Mundial de Navegación Aérea Basada en la Performance de Tecnologías Emergentes, Jim Nagle, jefe CNS/AIRS, 2017).

De igual manera la Unión Europea mantiene en desarrollo el programa SESAR (Single European Sky ATM Research) el cual se sugiere transformar, modernizar y gestionar un único espacio aéreo sobre Europa que responda a las demandas futuras del tráfico aéreo manteniendo la armonización a través de los distintos Estados miembros favoreciendo la seguridad operacional y disminuyendo el impacto al medio ambiente. SESAR ha concebido un sistema de gestión de trayectorias en el que se establece una visualización 4D, pero que además tiene en cuenta los cambios de altura que se pueden presentar, las trayectorias preferidas por los usuarios (pilotos) y autorizaciones de los controladores de tránsito, todo con la idea de proveer un sistema compuesto por todos los diferentes usuarios del espacio aéreo europeo, desde el personal militar hasta el transporte comercial (Sistema Mundial de Navegación Aérea Basada en la Performance de Tecnologías Emergentes, Jim Nagle, Jefe CNS/AIRS, 2017).

Estos programas, NextGen y SESAR, han inspirado proyectos relacionados con el desarrollo y aplicación de sistemas de información geográfica (GIS) para la presentación de información aeronáutica como mapas de aeropuertos y obstáculos, cartas de rutas e instalaciones para la navegación aérea y espacios aéreos, e incluso la presentación en tiempo real de la posición de los vuelos, entre otros. Por ejemplo, la FAA tiene implementado el portal Airpor Data and Information Portal (<https://adip.faa.gov/agis/public/#/public>) con toda la información aeronáutica requerida en el NextGen. Eurocontrol tiene a su vez el portal de cartografía <https://www.eurocontrol.int/service/cartography> y, en Suramérica, Brasil dio al servicio en junio de 2019 su portal de información aeronáutica georreferenciada a través del sitio <https://geoaisweb.decea.mil.br/#>.

Existen también otros sitios web que no están certificados para proveer información o servicios para la navegación aérea, pero que son utilizados por el público en general y que ofrecen entre otros datos para la planificación de vuelos como Skyvector (<https://skyvector.com>), Flight Planner (<http://onlineflightplanner.org>) y Flight Plan Database (<https://flightplandatabase.com>), y portales en línea para la visualización del tráfico aéreo mundial como Flight Radar 24 ([www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com)) y Plane Finder (<https://planefinder.net>).

## **Sistemas de información SIGMA- SIA/AIM**

A partir del año 2003 la UAEAC implementó el Sistema de Información para la Gestión del Mantenimiento Aeronáutico SIGMA el cual opera actualmente sobre la versión 7.5 del software MÁXIMO de IBM. MÁXIMO es un software del tipo EAM (Enterprise Asset Management) o software de gestión de activos empresariales (MPR, 2012).

En la actualidad mediante el sistema de información SIGMA se gestiona y controla no solamente la infraestructura CNS sino también todos los activos aeronáuticos y aeroportuarios que tiene la UAEAC y por medio de los cuales provee todos los servicios a la navegación aérea en Colombia. Por medio del SIGMA se realiza el registro de toda la información para la gestión del mantenimiento aeronáutico, esta es: incorporación de Órdenes de Trabajo de Mantenimientos Preventivos y Correctivos Programados, Planes de Trabajo de los sistemas CNS, MET y Ayudas Visuales, ingreso de órdenes de Trabajo de Inspecciones, contratos, visitas técnicas de campo para instalación de equipos, y el control de garantías de equipos con contratos vigentes. De igual forma se consulta, mediante reportes del sistema, la disponibilidad de la infraestructura técnica, equipos fuera de servicio, estado de los servicios y acciones adelantadas sobre los equipos. Esta información provee los datos necesarios para asegurar una mejor planeación y programación a futuro del presupuesto y de las actividades de mantenimiento, para posibilitar la reducción de los costos totales del mantenimiento, incrementando la productividad y optimizando los inventarios de partes, materiales y repuestos (OACI, 2009).

El proyecto SIGMA se implementó completamente para la totalidad de regionales aeronáuticas, aeropuertos asistidos y estaciones aeronáuticas en cuanto a las áreas funcionales que realizan mantenimiento, estas son Dirección de Telecomunicaciones y sus grupos, Dirección de Informática y sus grupos, Soporte Técnico y sus áreas de Radar, Radio ayudas, Comunicaciones, Meteorología y Energía; en la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA) en las áreas de SAR/SEI y finalmente en la Dirección de Seguridad y Supervisión Aeroportuaria. El nivel directivo de

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

la UAEAC tiene acceso a informes gerenciales que le sirven de elementos de juicio para la toma de decisiones (OACI, 2009).

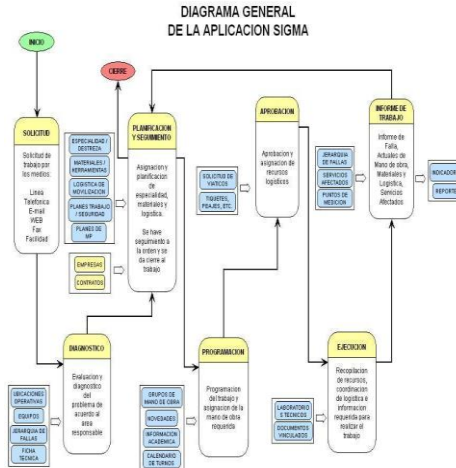


Ilustración 21 Funcionamiento del MLAT. (Barajas & Vidal, 2010)

El SIGMA facilita reunir la información técnica y operacional de los sistemas CNS y aeroportuarios que permita, en forma conjunta y sincronizada, el análisis y la toma de decisiones por parte de la DSN de los aspectos que inciden en la capacidad operacional del SINEA y de los servicios ATS, sin embargo, la información que entrega SIGMA son reportes en texto que pueden complementarse con gráficas que presentan la información de manera estadística o de tendencias.

## Toma de decisiones en colaboración (CDM)

La toma de decisiones en colaboración (CDM) es una metodología que reúne a los proveedores de servicios y a las partes involucradas en el sistema, con el fin de mejorar las decisiones relacionadas con la gestión de afluencia del tránsito aéreo.

El CDM es un elemento clave en el servicio de Gestión del Flujo de Tránsito Aéreo (ATFM) para poder maximizar las operaciones aeroportuarias y aéreas, ya que toma en cuenta todos los elementos de coordinación entre los proveedores de servicios de navegación aérea como, por ejemplo, las dependencias de gestión de afluencia (FMU) y los que reciben dichos servicios como, por ejemplo, las aeronaves y los explotadores aeroportuarios. La CDM incorpora a todos los que participan en el proceso

de planificación, compartiendo información sobre la posición de la aeronave, las predicciones, los pronósticos meteorológicos, los pronósticos de tránsito y, en general, cualquier cosa que contribuya a la eficiente operación de un sistema del espacio aéreo a nivel regional. En consecuencia, (OACI, 2010) el concepto CDM se construye sobre la base del intercambio de una gran cantidad de información entre los participantes lo que algunas veces puede causar preocupación. El problema no es obtener la información, ni distribuirla. El reto es desarrollar una cultura de mutua confianza y cooperación. (p.7).

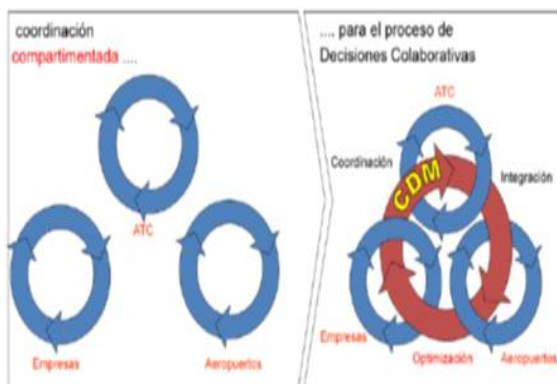


Ilustración 22 Escenario de coordinación compartida para el proceso de toma de decisiones en colaboración (CDM).

Fuente: (OACI, 2010).

En resumen, el CDM permite que a partir de la adecuada y fiable información disponible sobre la infraestructura CNS la DSNA junto con los demás entes involucrados tome las mejores decisiones con respecto a la disponibilidad de los servicios de tránsito aéreo (ATS) que favorezcan equitativamente a todos los usuarios del SINEA en un entorno que garantice la seguridad operacional.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el desarrollo del aplicativo para la presentación de la información sobre los sistemas CNS tomará el rol de herramienta para la toma de decisiones se propone que este aplicativo sea producto del desarrollo de un módulo arquitectónico para la UAEAC, permitiendo el análisis y la visualización entre dominios de negocio de manera inequívoca. Para ello se pretende usar el lenguaje de modelado arquitectural ArchiMate desarrollado por The Open Group y completamente detallado en el estándar de especificación de ArchiMate 3.0.1. Archimate se basa en una exploración compuesta de 15 puntos de vista que darán como pie la construcción de una arquitectura empresarial desde donde se desarrolla el aplicativo en función del comportamiento de la entidad con el fin de proveer una solución a la necesidad identificada

Por lo anterior, el alcance inicial del proyecto es desarrollar el modelo arquitectónico producto del análisis realizado para exponer un prototipo del



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

desarrollo del modelo que puede o no ser mejorado e implementado según la disposición y necesidad futura de la UAEAC.

## Diseño de la investigación

### Tipo de estudio

El enfoque investigativo de este proyecto es “descriptivo”, puesto que el objetivo es generar una arquitectura a partir del estado actual de la UAEAC y el uso dado a sus sistemas de información, por medio del uso de entrevistas a las partes involucradas, revisión de los datos secundarios como: políticas, informes, manuales y publicaciones, así mismo se obtendrán datos de observación a través de visitas al área operativa del Centro de Gestión Aeronáutico de Colombia (CGAC).

El estudio se realizará en las instalaciones del Centro de Estudios Aeronáuticos (CEA), el Centro Nacional de Aeronavegación (CNA) y el Centro de Gestión Aeronáutico de Colombia (CGAC) para tener acceso a la información y la intervención de las partes involucradas que están encargadas tanto de la administración de los sistemas de información como del uso operacional de los mismos.

## Metodología

### Estrategia

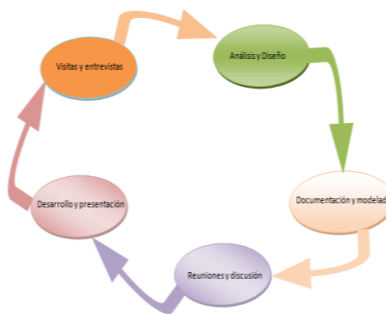


Ilustración 23 Estrategia para el desarrollo.  
Fuente: Elaboración propia.

La metodología a desarrollar será la diseñada por el The Open Group para el diseño de arquitecturas empresariales, la cual presenta adiciones dado

el tipo de proyecto, como lo son las entregas, el desarrollo de las pruebas y el despliegue.

Tabla 4 Componentes Archimate, Architecture Development Method (ADM)

Desarrollo arquitectural para la UAEAC	
Fase 1. Planeación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentación del equipo de trabajo</li> <li>Visita al Centro Nacional de Aeronavegación (CNA)</li> <li>Conocimiento y visitas a la entidad</li> <li>Encuentro con ingenieros de la Dirección de informática</li> <li>Estudio de políticas de desarrollo</li> <li>Estudio de políticas de seguridad de la información</li> <li>Radicado de propuesta ante la UAEAC</li> <li>Estudio del funcionamiento de sistemas SIGMA y SIA- AIM</li> </ul>
Fase 2. Análisis y conocimiento de la entidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recolección de información de las partes involucradas</li> <li>Análisis de la visión y misión de la UAEAC</li> <li>Definición de la problemática</li> <li>Definición de alcances</li> <li>Presentación de anteproyecto ante la UAEAC</li> <li>Identificación de roles y colaboraciones</li> <li>Identificación servicios ofrecidos</li> <li>Identificación de procesos</li> </ul>
Fase 3. Diseño arquitectural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de aplicación</li> <li>Diseño de motivación</li> <li>Diseño de tecnología</li> <li>Diseño de proyecto</li> <li>Diseño aplicativo</li> </ul>
Desarrollo arquitectural para la UAEAC	
Fase 4. Desarrollo Aplicativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollo Frontend</li> <li>Desarrollo de interfaz de usuario</li> <li>Desarrollo de interfaz de usuario</li> <li>Desarrollo de API de conexión</li> <li>Desarrollo Backend</li> <li>Desarrollo de API a sistemas existentes</li> <li>Desarrollo de lógica del negocio</li> </ul>
Fase 5. Pruebas	Desarrollo del plan de pruebas

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país



Ilustración 24 Elaboración propia.

Participantes

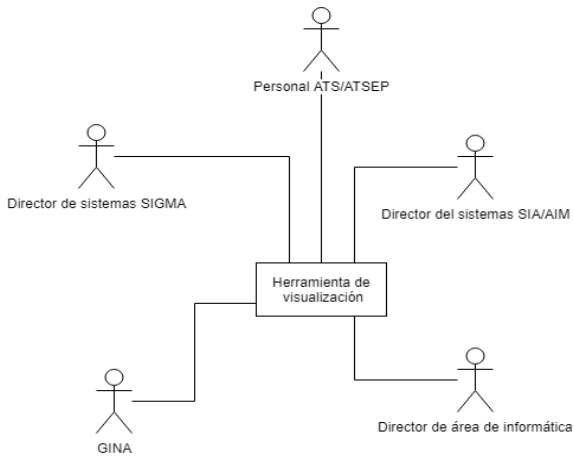


Ilustración 25 Participantes.  
Fuente: Elaboración propia.

## **ADM**

Architecture Development Method (ADM), en español arquitectura desarrollada por métodos es un estándar de definición arquitectural definido por TOGAF estandarizado a su versión más reciente en año 2009, que busca a través de la utilización de distintos puntos de vista definir una arquitectura que sea acorde al modelo de datos y al modelo de aplicaciones con las que cuenta la empresa. Para el diseño de una arquitectura de este tipo se utiliza un lenguaje de definición arquitectónica estando entre los más usados Archimate dada su simplicidad con respecto a lenguajes como lo es el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) y modelos de notación de procesos de negocio (BPMN), manteniendo su foco principal en el flujo de procesos y servicios ofrecidos por la entidad.

El estándar ADM pretende a lo largo de cinco fases de trabajo garantizar que se diseñe una arquitectura que se ajuste al modelo de negocios que maneja la empresa, a su flujo de proceso y que de existir sistemas de información que se encuentren ya en funcionamiento, sean utilizados como punto de partida de cualquier desarrollo futuro apoyándose en la infraestructura provista por la entidad, a su estructura de datos y a la distribución de sus canales.

### **Modelo de Proceso**

El diseño de la arquitectura se lleva a cabo en cinco fases de las cuales cada una cuenta con puntos de vista que permiten evidenciar el funcionamiento de la entidad a fin de comprender su flujo de procesos, los servicios que estos producen y el uso de los recursos físicos para cumplir con esos servicios.

Las fases de diseño son:

#### *Fase 1 Negocio*

Durante esta fase se estudia el modelo de negocio de la empresa a fin de conocer sus diferentes procesos, sus diferentes actores, los roles que desempeña cada actor, las cooperaciones de roles que se presentan y finalmente los servicios que se producen en el flujo de procesos.



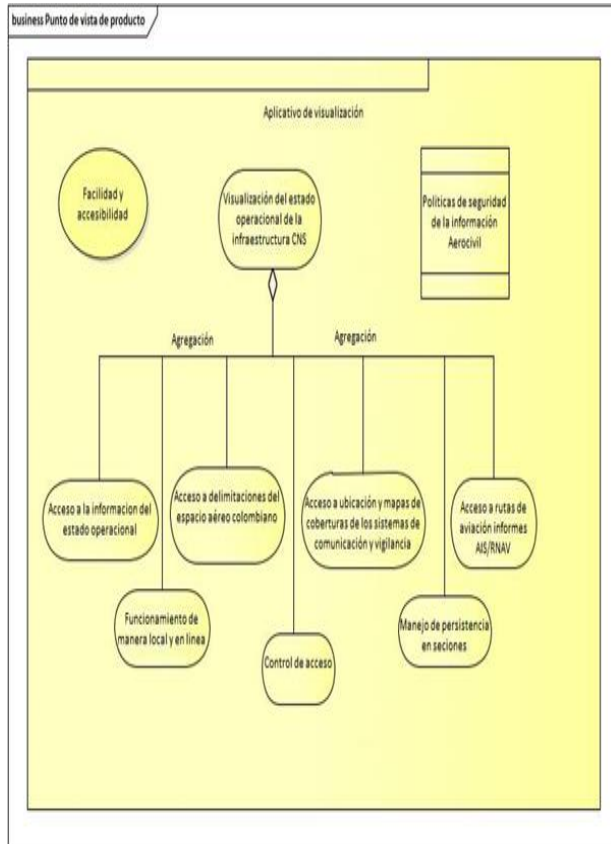


Ilustración 28 Punto de vista de producto.  
Fuente: Elaboración propia.

### *Fase 2 Aplicación*

Durante esta fase se oriente el desarrollo de la arquitectura dando como resultado el trabajo sobre un producto ya sea físico o de software que estará en relación con varios componentes, la estructura de la información, con los objetos de negocio y con los procesos y servicios que se buscan mejorar.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

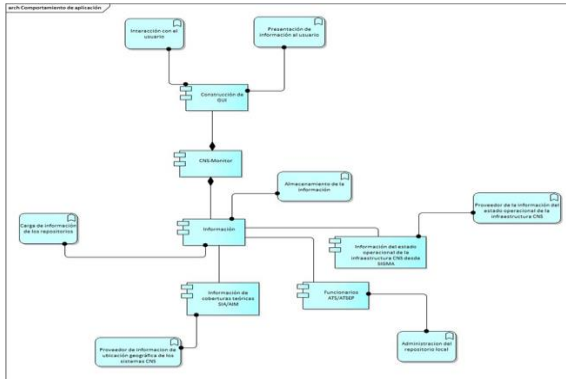


Ilustración 29 Punto de vista de comportamiento de aplicación. Fuente: Elaboración propia.

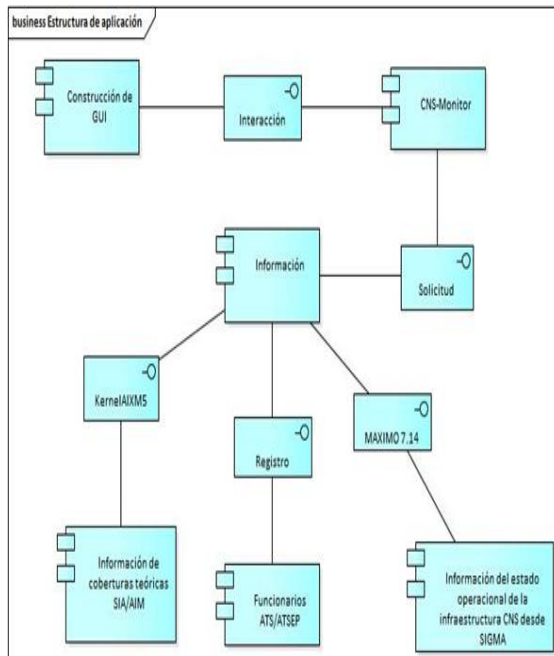


Ilustración 30 Punto de vista de estructura de aplicación. Fuente: Elaboración propia.

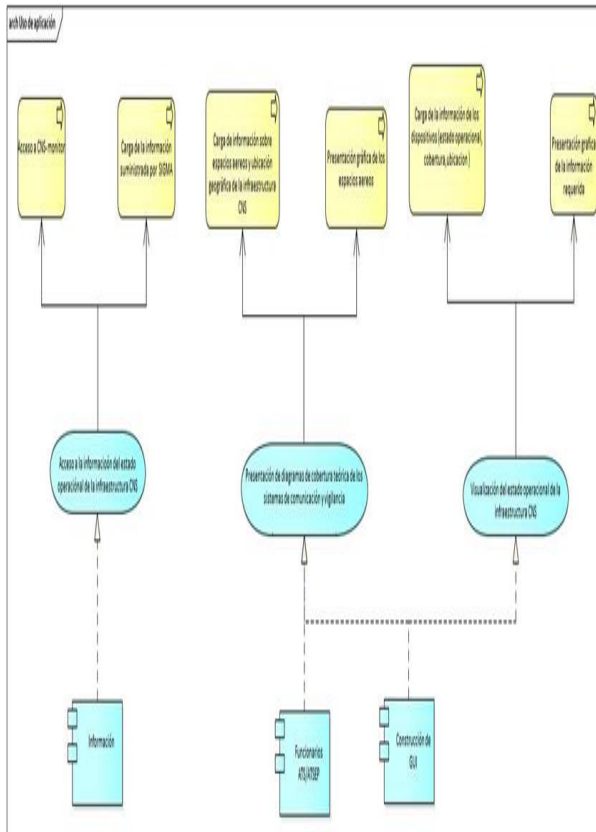


Ilustración 31 Punto de vista de realización del servicio.  
Fuente: Elaboración propia.

### *Fase 3 Tecnología*

Durante esta fase se realiza un estudio de cómo la infraestructura existente en la entidad se relacionará con el producto obtenido en la fase anterior y como se darán los distintos soportes al mismo a través de la infraestructura tecnológica.



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

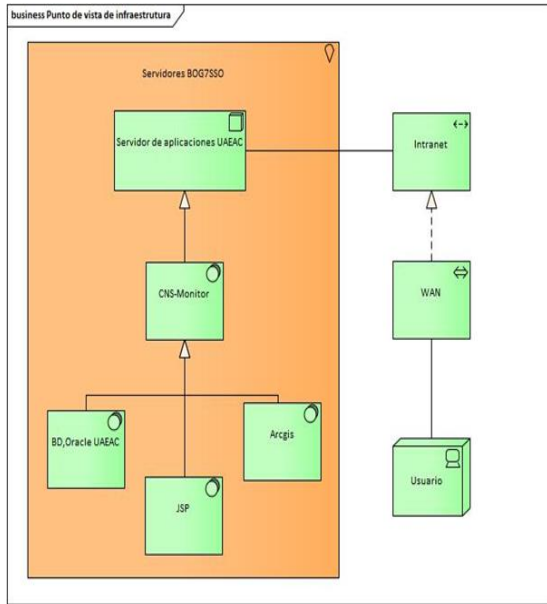


Ilustración 32 Punto de vista de infraestructura.  
Fuente: Elaboración propia.

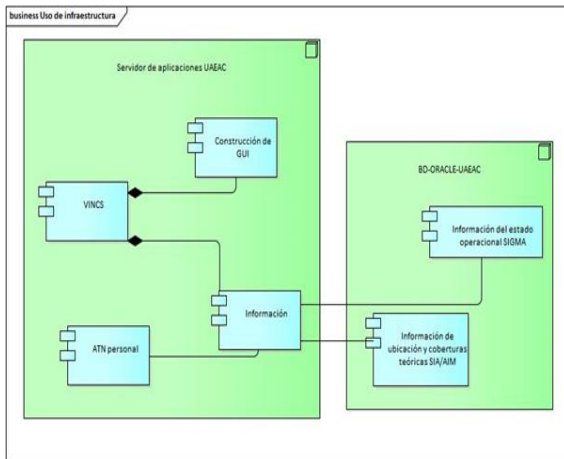


Ilustración 33 Punto de vista uso de infraestructura.

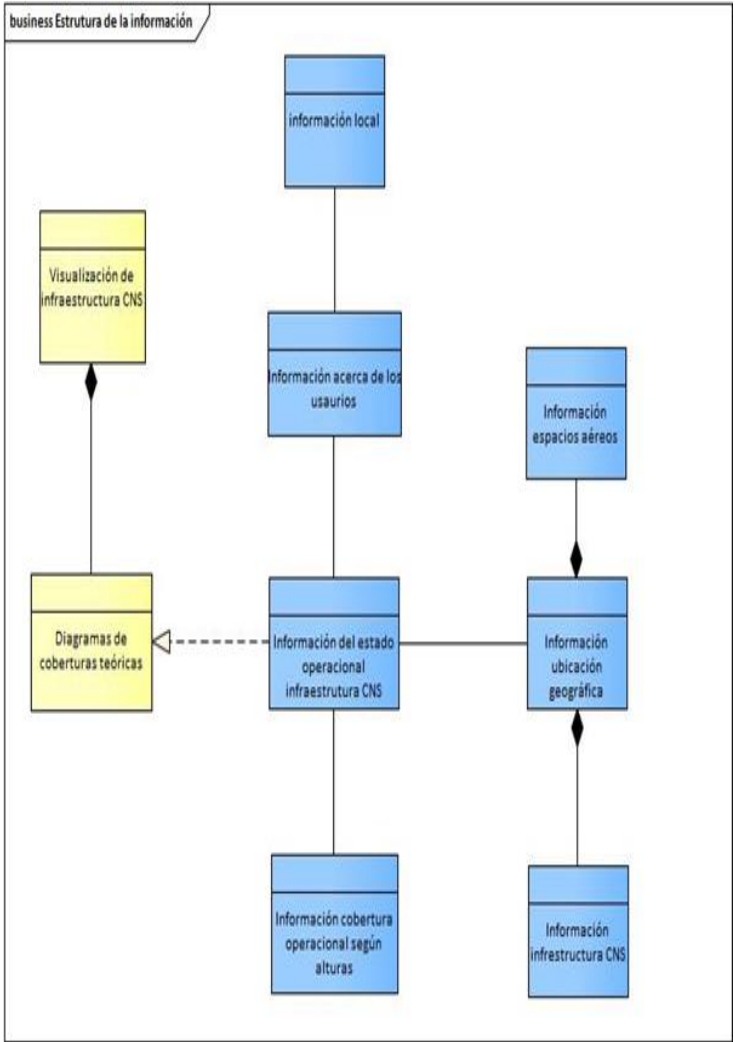


Ilustración 34 Punto de vista de estructura de la información.

#### *Fase 4 Motivación*

En esta fase se busca evidenciar los requerimientos, restricciones y objetivos que deberá cumplir desarrollo del producto, a partir de un estudio a los stakeholder y los distintos objetivos que estos presenten en el diseño de la arquitectura.

# La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

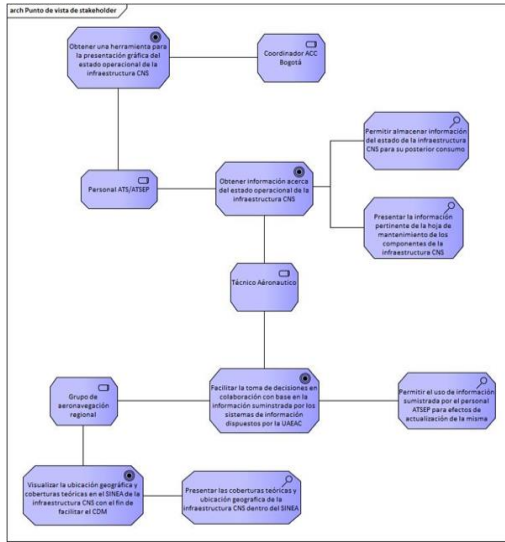


Ilustración 35 Punto de vista de stakeholder. Fuente: Elaboración propia.

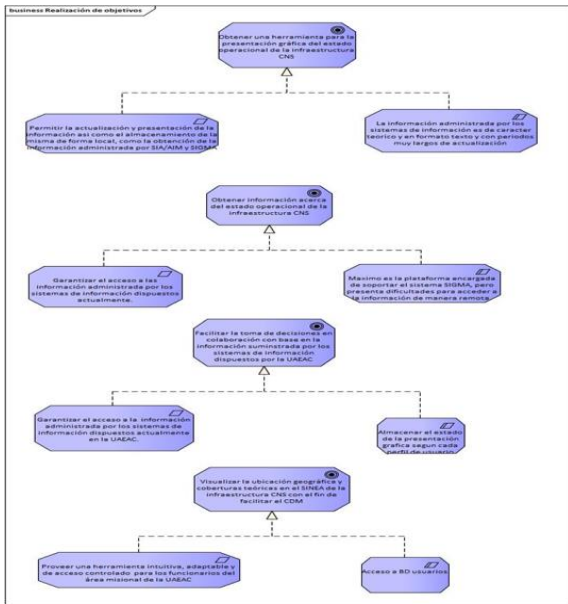


Ilustración 36 Punto de vista de realización de objetivos.

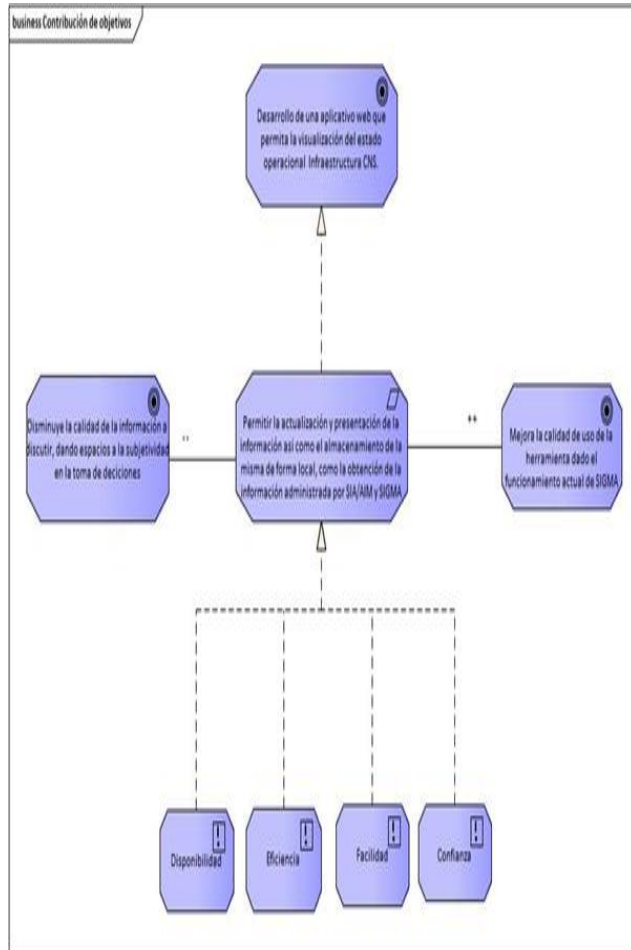


Ilustración 37 Punto de vista contribución de objetivos.

### Fase 5 Proyecto

En esta fase se hace un resumen del trabajo realizado a través de todas las anteriores fases, además de plantear el modo de migración y extensión de la arquitectura.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

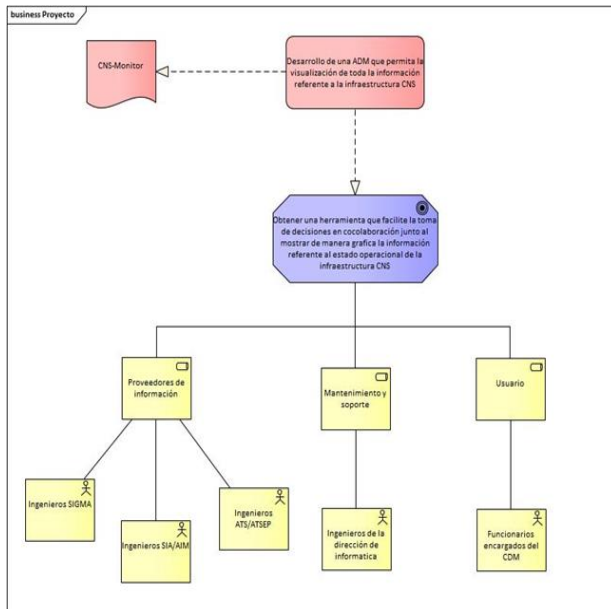


Ilustración 38 Punto de vista de proyecto.

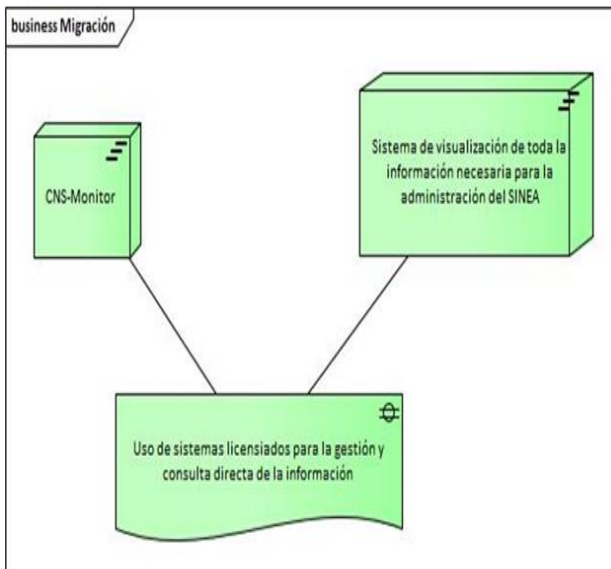


Ilustración 39 Punto de vista de migración.

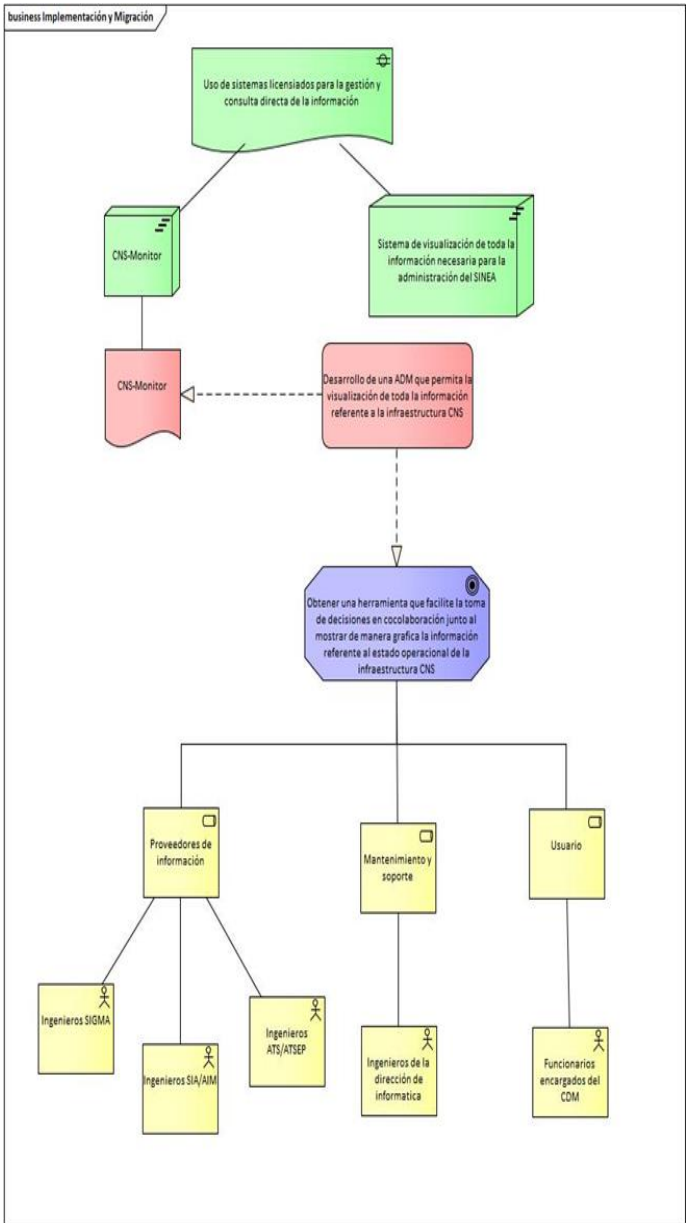


Ilustración 40 Punto de vista de proyecto y migración.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## Implementación

Habiendo diseñado la arquitectura, el siguiente paso es la implementación por lo cual se utilizó Java Script para facilitar la programación de la arquitectura de componentes propuesta inicialmente.

```
index.html > html > body > script > require() callback
!DOCTYPE html>
html lang="en">
<head>
  <!-- Required meta tags -->
  <meta charset="utf-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no, maximum-
  <style>
    html, body, #mapa {
      padding: 0;
      margin: 0;
      height: 100%;
      width: 100%;
    }
  </style>
  <!-- Bootstrap CSS -->
  <link rel="stylesheet" href="https://js.arcgis.com/4.12/esri/themes/light/main.css">

  <link rel="stylesheet" href="b/css/bootstrap.min.css">
```

Ilustración 41 Fragmento de código.

```
<!-- jQuery first, then Tether, then Bootstrap JS. -->
<script src="https://code.jquery.com/jquery-3.1.1.slim.min.js"
  integrity="sha384-A7Fzj3v+d/sdmMqp/nOQwliLvUsFDhmiK90mg/a/EheAdgtzNs3hpfag6Ed958n" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/tether/1.4.0/js/tether.min.js"
  integrity="sha384-DztdAP9bBPRxSA/3eVeeUmrWcy76SKFbe8FFJk57A1xUVHKKD60InIDkx51b8rb" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="https://js.arcgis.com/4.12/"></script>
<script src="b/js/bootstrap.min.js"></script>

<script>
  require(["esri/Map", "esri/views/MapView", "esri/layers/KMLLayer"],
  function(Map, MapView, KMLLayer)
  {
    var layer = new KMLLayer({url: "https://earthquake.usgs.gov/fdsnws/event/1/query?format=kml&minmagnitude=5.8"});
    var map = new Map({ basemap: "topo-vector", layers: [layer]});
    var view = new MapView({container: "mapa", map: map, center: [-118.71511, 34.89842], zoom: 11});
  });
</script>
</body>
</html>
```

Ilustración 42 Fragmento de código.



Ilustración 43 Pantalla inicial del aplicativo.

## Conclusiones

- A lo largo de la investigación se pudo evidenciar que el (UAEAC, 2011) no tiene una verdadera cultura organizacional entorno a los sistemas de información disponibles, esto sin duda ha causado que no todos los funcionarios se interesen en conocer cómo son estos sistemas, para qué sirven y por qué están dispuestos dentro de la entidad; adicionalmente los sistemas involucrados en este proyecto trabajan de manera independiente uno del otro, dando como resultado una sub utilización y una separación funcional entre las dependencias que se encargan de utilizarlos y administrarlos.

- El desarrollo de una ADM permite comprender el comportamiento de la (UAEAC, 2011) en lo que respecta a la infraestructura CNS y desarrollar una herramienta que sirva para entornos administrativos como ayuda para la toma de decisiones en colaboración que se requieren y que repercuten en la seguridad operacional. De igual manera el aplicativo desarrollado (CNS-Monitor) puede lograr la utilización de los sistemas de información dispuestos de manera más sencilla que no implique para el funcionario tomar un curso o leer innumerables manuales sobre un sistema de información y su funcionamiento, permitiendo que así se mejore su usabilidad y se fomente la cultura de apoyarse en los sistemas y las tecnologías de la información disponibles.

- Dentro del marco de la investigación realizada para este proyecto se logra identificar muchas áreas donde el trabajo con tecnologías de la información y la generación de nuevas herramientas es necesario como lo puede ser el área de meteorología aeronáutica porque la información disponible de los radares meteorológicos puede incluirse como un módulo



adicional en la arquitectura desarrollada con el fin de hacer más potente y mejorar el aplicativo CNS-Monitor como herramienta de gestión administrativa y operacional.

## Referencias

Barajas, E, Vidal, J. (2010). Metodología para la optimización del flujo de trabajo del sistema de información de gestión de mantenimiento aeronáutico (SIGMA) Basado en TOC.

Carrasco, S. (2017). Sistematización de procesos para escalar la empresa. Retrieved from Sistematización de procesos para escalar la empresa website: <http://elnuevoentrepeneur.com/sistematizacion-procesos-escalar-la-empresa/>

CREATIVERGE. (2007). multilateration & ADS-B.

DOC9859OACI. (2006). Manual de gestión de la seguridad operacional DOC 9859 (2006). 823, 7.

Jiménez, F. (2015). Estudio sobre los sistemas de comunicaciones, navegación, vigilancia y gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM): Situación actual y futura. Retrieved from [http://oa.upm.es/38212/7/PFC\\_FRANCISCO\\_JAVIER\\_JIMENEZ\\_FERNANDEZ\\_2.pdf](http://oa.upm.es/38212/7/PFC_FRANCISCO_JAVIER_JIMENEZ_FERNANDEZ_2.pdf)

MPR. (2012). INTRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN Y GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO AERONÁUTICO SIGMA 7.5, 1–68.

OACI. (2009). Quinta Reunión del Grupo de Tarea ATFM (ATFM/TF/5), 1–6.

OACI. (2010). Manual del proceso de toma de decisiones en colaboración para la región sudamericana (SAM) (Manual CDM-SAM). Recuperado de

OACI. (2016). Anexo 15. Recuperado de

PMNA. (2018). Plan mundial de navegación aérea 2016-2030 CAPACIDAD Y EFICIENCIA. Retrieved from [www.icao.int](http://www.icao.int)

The Open Group. (2017). ArchiMate 3.0.1 Specification, an Open Group Standard. Recuperado de <http://pubs.opengroup.org/architecture/archimate3-doc/>

UAEAC. (2011). Plan de Navegación aérea para Colombia Vol I: requerimientos operacionales. Recuperado de <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/plan-de-navegaci%C3%B3n-a%C3%A9rea-para-colombia-pna-col>

## Sección 2

# Resultados de Investigación en el Sector Aeronáutico Militar.

## Capítulo 4.

# Papel de los Encadenamientos Productivos para el Desarrollo de la Industria Aeronáutica Colombiana

Álvaro Fernando Moncada Niño<sup>10</sup>  
Julio Ernesto Rodríguez Pirateque<sup>11</sup>  
Jeimmy Nataly Buitrago Leiva<sup>12</sup>

## Resumen

El crecimiento económico de un país en el largo plazo, se basa en los aumentos de productividad, que en el caso colombiano ha sido bajo, principalmente por causas como: la presencia de fallas de mercado o de gobierno, el bajo número de actividades económicas y productos sofisticados que son producidos y exportados por Colombia y la existencia de fallas de articulación entre los actores del sistema productivo, lo cual ha generado ineficiencias en las iniciativas que buscan aumentar la productividad. (DNP - Departamento Nacional de Planeación, 2016).

En la industria aeronáutica colombiana, el crecimiento y desarrollo competitivo ha estado limitado por la ausencia de mecanismos de transferencia tecnológica y de conocimiento, la escasa disponibilidad, formación del personal incluso las debilidades en los encadenamientos productivos, que en conjunto con la innovación, el emprendimiento, esquemas de financiamiento y calidad, se constituyen en las principales barreras para el aprovechamiento de las oportunidades que emergen en el mercado local y regional.

En esta investigación se analiza el papel de los encadenamientos productivos como elementos claves para el incremento de la productividad y la sofisticación en bienes y servicios, encontrándose que la

---

<sup>10</sup> [alvaro.moncada@hotmail.com](mailto:alvaro.moncada@hotmail.com) Investigador. Doctor en Dirección de Empresa

<sup>11</sup> [julio.rodriguez@epfac.edu.co](mailto:julio.rodriguez@epfac.edu.co) Investigador. Magister en Logística Aeronáutica

<sup>12</sup> [jeimmy.buitrago@epfac.edu.co](mailto:jeimmy.buitrago@epfac.edu.co) Investigadora. Magister en Logística Aeronáutica

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

complementariedad con el sector metalmecánico y el automotriz, potencialmente se traducirían en mayores economías de escala, mejora en la innovación y la aceleración de transferencia de tecnología y conocimiento que en conjunto facilitaría la adquisición de las capacidades productivas requeridas para acceso a nuevos mercados. La identificación de la demanda de productos y servicios en sector público aeronáutico, así como la promoción y fortalecimiento de las certificaciones de proveedores en las normativas requeridas globalmente, son las acciones que consideran esenciales para el desarrollo de la industria. El bajo nivel de desarrollo de la producción destinada a la inserción en cadenas globales emerge como un obstáculo para convertirse en un jugador relevante en esta industria, donde la globalización, nivel de especialización y alto grado de integración, son elementos claves para su competitividad.

**Palabras Claves:** Encadenamientos productivos, cadenas de valor globales, industria aeronáutica, política de desarrollo productivo.

## Antecedentes

El nuevo ambiente de negocios obliga al desarrollo de relaciones estratégicas de largo plazo entre los eslabones de la cadena, dejando los modelos tradicionales basados en la relación económica y evolucionando hacia modelos soportados en la colaboración e innovación como elementos centrales, convirtiéndose en un desafío para las industrias y sectores la adaptación a la visión de cadena de valor como fundamento para superar las “brechas de competitividad, productividad e información de una forma integral” (ANDI, 2017, p. 127).

“Un elemento clave para el crecimiento y desarrollo económico en la estrategia de industrialización, consiste en desarrollar sectores con mayores niveles de competitividad y mediante el cual, el conocimiento sea un pilar primordial del proceso productivo. Para ello se pueden aprovechar las externalidades que generan unos sectores y empresas a otros, lo que se conoce como encadenamiento productivo o “linkages” (ANDI, 2015, p. 151), el cual ha sido reconocido como un elemento clave para impulsar las complementariedades entre los diferentes sectores económicos y brindar oportunidades para su inserción en las cadenas globales de valor (CGV).

El ambiente de negocios demanda la inserción en cadenas globales de valor en reemplazo de los modelos de intercambio basados en países y bloques, a partir de encadenamientos productivos, que, en conjunto con la competitividad, la productividad y la internacionalización de las empresas,

son los ejes que en época reciente impulsan la política industrial moderna. (Ocampo, 2008).

“Se hace necesario promover una política de desarrollo productivo (PDP) que tiene como objetivo exclusivo la solución de fallas de mercado, de articulación y de gobierno que limitan el crecimiento de la productividad y la sofisticación del aparato productivo colombiano” (DNP, 2016, p. 11).

El desarrollo productivo de la industria aeronáutica colombiana busca alcanzar su competitividad en todas sus dimensiones, permitiendo su mayor presencia aparte acceso a nuevos mercados internacionales. Para este propósito la generación de encadenamientos productivos fomenta el desarrollo empresarial en la medida que acelera el desarrollo tecnológico, permitiendo reducir costos, incrementar productividad y desarrollo de productos así como servicios de mayor valor agregado y alta sofisticación.

## **Marco Referencial**

### **Los Encadenamientos Productivos**

“Una estrategia clave para aumentar la competitividad e internacionalización empresarial es la promoción de encadenamientos productivos, que son enlaces entre los distintos conjuntos de empresas que componen cada etapa o eslabón de un determinado proceso productivo para articularlos según sus capacidades, reduciendo riesgos, promoviendo relaciones comerciales de largo plazo, optimizando los procesos productivos y aumentando los estándares de calidad de los bienes y servicios producidos, todo lo cual facilita el acceso a nuevos mercados” (Mincomercio, 2015, p. 2). Para el aumento de la competitividad y la productividad, la innovación es un elemento fundamental, ya que permite una mejor utilización de los recursos que normalmente se refleja en los nuevos modelos de negocio tanto como desarrollo de productos y servicios. Sin embargo, según el último informe de competitividad mostró una alta obsolescencia tecnológica, en donde solo el 22% de las empresas colombianas innovan. (Consejo privado de competitividad, 2018).

“Las empresas deben tratar de aumentar sus niveles de productividad (eficiencia más eficaz), lo que no resulta fácil debido a una serie de problemas que normalmente presentan, especialmente, las micro y pequeñas empresas, tales como: la falta de financiamiento, un proceso de comercialización que no es el adecuado, escasa capacidad tecnológica, mercados imperfectos, limitada capacidad de gestión gerencial y estratégica, recurso humano poco capacitado, escasos recursos financieros, entre otros; situaciones que le restan productividad y por ende competitividad”

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

(Benavides, 2009, p. 18). El encadenamiento productivo es “es un proyecto que promueve y mejora los vínculos comerciales entre las empresas que son proveedoras de insumos o materia prima, y las que los transforman en productos terminados, con el interés de lograr productos y servicios de mejor calidad” (Cardenas, 2015, p. 3). Ella misma señala que es una “relación de largo plazo establecida entre las empresas con el objetivo de obtener beneficios en conjunto, generados por un producto para la exportación” (Cardenas, 2015, p. 7), es decir que las empresas contribuyen en las diversas insumos, partes o procesos del producto mediante su asociación.

“Cuyo principal objetivo es el desarrollo de proveedores y la conexión entre compañías, tanto compradoras como vendedoras, de una cadena específica” (Trout, 2018), convirtiéndose en claves para el desarrollo de los sectores. “Uno de los ejes de la estrategia de industrialización consiste en establecer relaciones productivas entre las diferentes partes de una misma cadena” (Trout, 2018). El encadenamiento productivo busca que se “aproveche las complementariedades entre sectores productivos... lo cual debe reflejarse en economías de escala, desarrollo de la innovación, transferencia de tecnología, en un proceso de modernización funcional y de aprendizaje conjunto que facilitaría adquirir las capacidades productivas necesarias” (ANDI, 2017, p. 127). Las cadenas de valor globales se fundamentan en el concepto de múltiples locaciones de la cadena productiva, permitiendo la especialización de cada una de ellas, es lo que se considera más competitivo. Como lo señala Gereffi (2001) los encadenamientos productivos son el conjunto de actividades involucradas en el diseño, producción igual que marketing del producto. Pero también exige para cada una de ellas, mantener niveles de eficiencia, así como calidad en el uso de los recursos aparte de esas capacidades dentro de las buenas prácticas y estándares internacionales, obligándoles a mejorar en forma continua sus niveles de competitividad. “Esta modalidad de producción flexible ha cobrado importancia al ayudar a las empresas a ser más competitivas cuando se esfuerzan por alcanzar los estándares de calidad reconocidos a nivel internacional” (Cardenas, 2015, pág. 8).

Como lo especifica la estrategia de encadenamientos productivos consiste Benavides (2009) “en que empresas de menor tamaño se conviertan en proveedor de las grandes o transnacionales, mediante el abastecimiento de productos y servicios de calidad brindados con oportunidad, lo que en parte les garantiza clientes importantes que les generan volúmenes de venta considerables” (p. 122). Los encadenamientos en el proceso productivo pueden ser hacia adelante o hacia atrás, lo cual implica que la empresa puede participar en cualquiera de las etapas.

El concepto de encadenamiento productivo fue introducido por Albert Fischman afirmando que son la secuencia de decisiones de inversión que tienen lugar durante procesos de industrialización que caracteriza el desarrollo económico” (Cardenas, 2015, pág. 8). “Un proceso de desarrollo es más eficiente cuando genera una secuencia de desequilibrios que inducen inversiones o presiones para adoptar políticas económicas orientadas a

corregirlos que, de esta manera, abren nuevas etapas del desarrollo” (Ocampo, 2008, p. 11).

Las empresas que participan en los encadenamientos productivos buscan mediante la eficiencia en costos, entregar productos y servicios de valor agregado en mercados donde individualmente estas no tendrían acceso, alcanzando beneficios para todas las empresas involucradas en el encadenamiento, permitiendo que “desarrollen y logren una producción sostenible, al involucrar a un grupo de empresas que consiguen una sinergia, de tal forma que se genera una competitividad en bloque a partir de la competencia solidaria. El éxito de las empresas exportadoras va ligado a la eficiencia de costos, así como a los avances de calidad e innovación” (Cardenas, 2015, pág. 10).

Las empresas deben alcanzar una producción flexible donde cada una de ellas se especializan en determinados procesos, fomentando los avances y la transferencia tecnológica. En un entorno hiperconectado, el mercado de las empresas tiende a ser cada vez más internacional, demandando de estas eficiencias en costos, altos estándares de calidad y continua innovación en productos y servicios, determinado de esta forma el lugar que ocupan en la cadena productiva y su grado de especialización que en conjunto determinan su generación de valor. Según Cardenas (2015), Padilla & Oddone (2016), mediante los procesos de encadenamiento producto se:

- Facilita la sofisticación e innovación.
- Fomenta la diversificación.
- Mejora la productividad.
- Aumenta el empleo.
- Permite una mayor inclusión de las micro y pequeñas empresas.
- Fortalecen lazos de confianza entre las empresas.
- Incrementa los estándares de calidad.
- Fomenta la capacidad exportadora de las empresas.
- Potencia la inserción en las cadenas globales.

LA OMC señala que la participación en encadenamientos productivos contribuye a la modernización de las organizaciones, permitiendo migrar de empresas inmersas en cadenas productivas a cadenas de valor, incorporando mayor valor agregado, incrementando la sofisticación inclusive diversificación e impulsando las complementariedades que pueden surgir en particular desarrollarse entre diversos sectores e industrias de la economía, basados en una visión de cadena como esencia de su desarrollo.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## **Modalidades del encadenamiento productivo**

“El desarrollo no depende tanto de encontrar las combinaciones óptimas para unos recursos y factores de producción dados, sino en llamar a la acción y poner en uso para propósitos del desarrollo unos recursos y habilidades que se encuentran ocultos, dispersos o mal utilizados” (Ocampo, 2008, p. 52).

Para el desarrollo de los encadenamientos productivos se tiene diversas modalidades:

- a) Asociación entre empresas: Es la alianza estratégica que surge entre las empresas de diferentes países, para llevar a cabo un proceso de transformación cumpliendo con las normas de origen y beneficiándose de los tratados de libre comercio.
- b) Encadenamiento hacia atrás Fischman señala que el encadenamiento hacia atrás es la medida de la capacidad de una actividad para originar el desarrollo de otras al utilizar insumos procedentes de ella. Mediante este se explica cómo y cuándo la producción de un sector es suficiente para satisfacer las necesidades mínimas que hacen atractiva la inversión en otro sector que éste abastece. En los encadenamientos hacia atrás, las empresas compradoras adquieren nuevas tecnologías.
- c) Encadenamiento hacia adelante Fischman indica que los encadenamientos hacia adelante se generan cuando se desarrolla una actividad que obtiene productos que utilizaran otros sectores posteriores como insumos intermedios para su proceso de producción. Cuando los encadenamientos son hacia adelante, las empresas proveedoras se benefician del conocimiento.

El encadenamiento es medido por el indicador de poder de Dispersión de Rasmussen, “el cual muestra el impacto de un aumento de la demanda de los productos de una industria determinada dentro de todo el sistema de industrias” (Cardenas, 2015, pág. 12). La expansión del sector que genera sobre los demás sectores que son proveedores de este.

## **Etapas en el desarrollo del encadenamiento productivo**

El proceso de encadenamiento productivo consta de tres etapas:

1. Se importa al país la materia prima o insumo (del país A) hacia el país socio productor (país B). Los insumos ingresan al país

libre de arancel, siempre y cuando cumplan con las normas de origen establecidas en el acuerdo comercial entre el país A y el B.

2. La segunda etapa consiste en la transformación de los insumos que se da lugar en el país B, y que resulta en un producto terminado.
3. Se exporta el producto terminado del país B al C, bajo la tarifa preferencial que otorga el acuerdo comercial entre el país B y el mercado destino o país C.

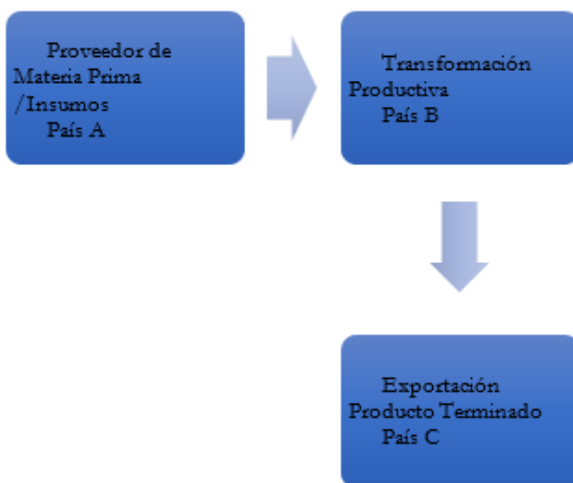


Ilustración 44 Encadenamiento Productivo. Fuente: Elaboración propia.

## Política de desarrollo Productivo

Según DNP (2016) el crecimiento económico de un país está relacionado con los aumentos de la productividad de sus sectores y en Colombia esta ha tenido bajo crecimiento por tres principales razones:

- Presencia de fallas de mercado o gobierno que limitan a las unidades productoras el aumento de su productividad.
- Disminución del número de actividades económicas en las cuales el país es competitivo, limitando el desarrollo de productos sofisticados y de alto valor agregado producidos en el país.
- Existencia de fallas de articulación entre el gobierno nacional y los diferentes actores del sector público y privado, generado ineficiencias y falta de orientación en el diseño y desarrollo de iniciativas para el aumento de la productividad.



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Para contribuir a la solución de estos problemas, se formuló la política nacional de desarrollo productivo (PDD) con el propósito de desarrollar instrumentos que apunten a resolver fallas de mercado, de gobierno o de articulación a nivel de la unidad productora, de los factores de producción o del entorno competitivo, que limitan el desarrollo de los determinantes de productividad, diversificación y sofisticación. Las PDP buscan incidir en la productividad.

Este CONPES estableció los elementos claves que deberían ser considerados en el desarrollo de un sector económico y señaló que los encadenamientos productivos, entre otros, como los determinantes de la “productividad relacionadas con el entorno” (ANDI, 2017, p. 132).

La PDD está enfocada en sofisticación, diversificación y encadenamientos productivos para aumentar la productividad y diversificar el aparato productivo colombiano hacia bienes más sofisticados (Bedoya, 2017). Dichas políticas están orientadas al “incremento de la productividad, a través del uso de instrumentos como la innovación, la promoción integral de sectores estratégicos, la mejora del capital humano, la promoción del emprendimiento, el fortalecimiento del mercado interno y la internacionalización. Todo lo anterior debe estar soportado por una estructura institucional que permita una adecuada colaboración público-privada” (DNP, 2016, p. 20).

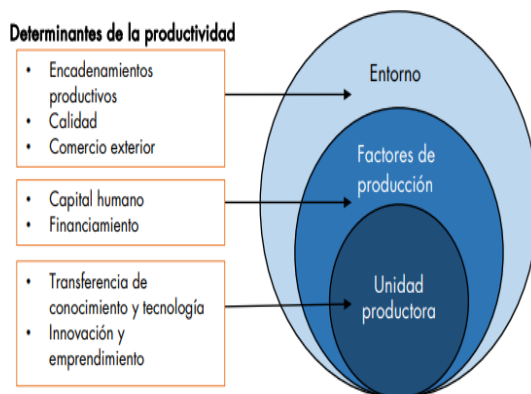
Sin embargo, se hace necesario la intervención del estado, para la creación de mecanismos, instrumentos y herramientas que permitan alcanzar el crecimiento deseado con el propósito de lograr el desarrollo económico necesario para el bienestar de sus ciudadanos. “La participación de los diversos agentes involucrados es esencial, ya que el esfuerzo por lograr la competitividad debe ser sistemático e integrador” (Benavides, 2009, p. 16).

Las brechas y fallas de mercado hacen que los encadenamientos productivos no sean eficientes, limitando las posibilidades de alcanzar los beneficios al operar como cadena, desaprovechando las externalidades que un sector puede generar en otro. Como señala (Blyde, 2014) citado por (DNP, 2016, pág. 51) “Los bajos niveles actuales de encadenamientos productivos en la economía colombiana son producto de fallas de coordinación entre los diferentes agentes económicos (productores primarios, proveedores, transformadores, comercializadores) que participan en la cadena. La baja coordinación limita las posibilidades de generación de economías de escala, creación de oportunidades de negocio con nuevos compradores, transmisión de avances tecnológicos entre actores de la cadena, la diversificación de la producción, el incremento en productividad y la integración de la producción nacional en cadenas regionales o globales de valor”.

El mejoramiento de la productividad de las empresas demanda programas iniciativas y programas que se encuentren alineados al PDD, como es el caso de “Fábricas de Productividad”, que han sido orientadas al

apoyo directo a la empresa, basado en aprendizajes de pilotos previos y con el tiempo necesario para lograr los resultados propuestos. (Consejo privado de competitividad, 2018).

## Determinantes de la Productividad



*Ilustración 45* Determinantes de la productividad. Fuente: DNP (2016, pág. 23)

Los determinantes de la productividad pueden ser clasificados de acuerdo con su alcance en la unidad productora, el factor de producción o en el entorno competitivo. El primero de ellos ocurre al interior de la unidad productora e incide en su eficiencia en el mediano plazo. El segundo o relacionado con los factores de producción, corresponde a los factores relevantes de las unidades productoras, como el talento humano, el capital financiero y los recursos naturales, alcanzado sus resultados en el mediano plazo; el tercero guarda relación con el entorno competitivo y los procesos productivos, que conducen al acceso nuevos y mercados extranjeros, incidiendo en la productividad en el largo plazo.

*Se proponen las siguientes estrategias para:*

- Mejorar las capacidades de innovar, emprender, absorber y transferir conocimiento y tecnología de las unidades productoras.
- Cerrar las brechas de capital humano y aumenta la oferta de programas de formación para el trabajo.
- Aumento en el acceso al financiamiento.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

- Cumplimiento de estándares de calidad por los productores nacionales.
- Inserción de bienes y servicios en encadenamientos productivos.

*La ausencia de diversificación y sofisticación:*

- Priorización de apuestas productivas a nivel departamental.

*Corregir las fallas de articulación:*

- Promover el entorno institucional para la articulación y coordinación entre actores.
- Esquema de planeación, seguimiento y evaluación de los instrumentos de desarrollo productivo.

*Por su parte la ANDI (2015) propuso como instrumentos y acciones concretas:*

- Estímulo a encadenamientos productivos para el aprovechamiento del mercado interno solucionando de manera coordinada las brechas de competitividad e información entre proveedores y compradores que no permiten que haya un emparejamiento empresarial exitoso.
- Acceso a Compras públicas, con el fin de utilizar la capacidad de compra de las entidades públicas para desarrollo de encadenamientos a partir de un sector público ancla, que impulse el crecimiento de las empresas proveedoras.
- Identificación y estímulo de clúster o apuestas regionales; que permita desarrollar mayores niveles de competitividad en cadenas productivas claves en las regiones.
- Impulso a la vinculación de empresas a cadenas globales de valor, para facilitar encadenamientos productivos a nivel internacional. (p. 154).

## **Encadenamientos productivos en la industria aeronáutica colombiana**

En Colombia, la aplicación de los encadenamientos productivos es limitada y dispersa, dado que las empresas no los consideran como herramientas que les permiten “reducir los riesgos y al mismo tiempo ser más eficientes, al crear relaciones comerciales de largo plazo, que brinden a nuevos mercados productos y servicios de mayor valor” (Cardenas, 2015,

pág. 3), desaprovechando, entre otras, las oportunidades generadas por los tratados de libre comercio y acuerdos comerciales para desarrollar y consolidar cadenas globales de valor.

Como señala la ANDI, una “visión de cadena que aproveche las complementariedades entre sectores productivos se traduciría en mayores economías de escala, innovación, transferencia de tecnología, buenas prácticas y, en general, en un proceso de modernización funcional y de aprendizaje conjunto que facilitaría adquirir las capacidades productivas necesarias, para insertarnos eficientemente en las cadenas nacionales y globales de valor” (ANDI, 2017, pág. 127).

La cadena de la industria aeronáutica y aeroespacial dentro de las iniciativas de desarrollo productivo del estado colombiano se encuentra enmarcada en las industrias del movimiento, en conjunto con las industrias automotriz y de astilleros, las cuales tienen la particularidad de que jalonan otros sectores de la industria y que se encadenan con varios eslabones de sectores como metalmecánica, plásticos, química básica, entre otros. Colombia tiene la “oportunidad de profundizar en el mercado de los bienes intermedios y así lograr con éxito encadenamientos productivos” (ANDI, 2015, p. 30).

“El sector Aeroespacial colombiano está conformado por todas las actividades empresariales relacionadas con la fabricación de plataformas, sistemas y subsistemas de abordaje, sistemas de soporte externo y conjuntos y partes para aeronaves. Asimismo, comprende todas las actividades relacionadas con gestión de vida de los productos, como la modernización o mantenimiento de aeronaves y equipos” (Colombia Productiva, 2018a).

El sector defensa en Colombia y en particular la Fuerza Aérea colombiana ha desarrollado capacidades en el Comando de Mantenimiento Aéreo (CAMAN) para la elaboración de piezas para aeronaves específicas, que con un modelo adecuado de negocios podría atender la demanda de estos mercados.

En 2015, el PTP y Grupo Social y Empresarial de la Defensa (GSED) y la Sección de Certificación Aeronáutica de la Defensa (SECAD), identificaron y presentaron las necesidades específicas de la Fuerza Aérea colombiana con el fin de identificar proveedores de la industria nacional e iniciar un proceso de sustitución de importación y desarrollo de proveedores locales (principalmente del sector metalmecánico) que fabriquen a menor costo y con óptima calidad. Se identificó que “las capacidades del sector metalmecánico son una oportunidad para generar encadenamientos productivos y promover la sofisticación y competitividad, fortaleciendo los procesos y cadena de valor de esta industria”. (Colombia Productiva, 2015)

También en 2015, ocurre la creación del Clúster Aeroespacial Colombiano CAESCOL, conformado como una iniciativa estratégica tecnológica por empresas, industrias, universidades, centros de investigación y desarrollo, así como diferentes entidades públicas y privadas, para la transformación económica, social, cultural y tecnológica de las regiones. Busca convertirse en un actor competitivo de clase mundial en el mercado aeroespacial, con la misión de estimular el desarrollo económico y

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

social de Colombia a través del Sector Aeroespacial, a nivel nacional e internacional y con la visión de que en el 2025 se convierta en el mejor aliado en tecnología para la Industria aeroespacial comercial y de defensa en Suramérica, a través de la Integración y desarrollo de centros de diseño, manufactura, reparación, reacondicionamiento (R&O), mantenimiento (MRO) y reciclaje de alto desempeño en aeronaves, para promover desde el concepto del diseño hasta el ciclo de vida de los productos. (CAESCOL, 2019, p.16).

En 2017, el programa de transformación productiva (PTP) en alianza la Asociación Colombiana de Productores Aeroespaciales (ACOPAER) iniciaron un proyecto para el análisis del entorno de empresas del Sector Aeronáutico en Colombia, que permita identificar las capacidades e integrar la industria bajo la metodología de un Programa de Desarrollo de Proveedores, con el propósito de “este análisis permitirá diseñar una herramienta que permitirá evaluar las capacidades de los proveedores de la industria aeroespacial” (Colombia Productiva, 2018b).

En octubre de 2017, en iniciativa liderada por Precolombina se instaló el consejo interinstitucional aeronáutico (CIAN), con el propósito de consolidar una industria aeronáutica colombiana en el corto plazo, mediante la articulación de iniciativas particulares y aisladas (Dinero, 2018).

En 2017, se realizó una caracterización de 85 empresas que fueron presentadas a Airbus, que permitió establecer que Colombia si estuviese en capacidad de vender a través de un encadenamiento productivo, inicialmente, para posteriormente convertirse en proveedores directos. El propósito de la nueva alianza radica en el desarrollo de varios subsectores de la cadena metalmeccánica en el país.

En 2018, la Cámara de Comercio Dosquebradas lanzó un proyecto para la sofisticación de industria metalmeccánica y autopartista de Risaralda, con el cual se buscó “desarrollar capacidades tecnológicas de diez empresas de esta región para la elaboración de productos en materiales compuestos como fibra de carbono, que son requeridos por la industria aeroespacial”. (Colombia productiva, 2018)

En 2019, PTP (ahora Colombia Productiva) y ACOPAER realizaron una convocatoria para la selección de 10 empresas con el propósito de desarrollar proveedores en la industria aeronáutica colombiana. En este proyecto se busca que las empresas seleccionadas “identifiquen sus capacidades productivas frente a la industria aeronáutica internacional y con base en las brechas establezcan un plan de acción para mejorar su calidad y productividad” (Colombia Productiva, 2019).

## Diseño Metodológico

Se establecieron las siguientes variables de análisis para el desarrollo aeronáutico colombiano, a la luz de los encadenamientos productivos:

- Demanda de productos y servicios del sector público aeronáutico.
- Visibilidad y transparencia de los procesos de planeación de compras del sector público aeronáutico.
- Mecanismos de contratación pública de bienes y servicios al sector público aeronáutico.
- Certificación de proveedores en las normativas aeronáuticas establecidas a nivel global.
- Cumplimiento de la normativa ambiental global en la producción local.
- Fomento de alianzas intersectoriales para lograr precios competitivos en los proveedores locales.
- Desarrollo de planes de integración en el sector que permitan controlar costos de fabricación, insumos y riesgos en la cadena de suministro.
- Integración a economías de escala para el abastecimiento de insumos, productos y servicios.
- Potenciar la producción destinada a la inserción en las cadenas globales.

De la población vinculada con la industria aeronáutica colombiana, se realizarán entrevistas a cinco expertos responsables de formulación de políticas públicas en diferentes instituciones del estado y la academia, relacionados con el sector aeronáutico colombiano. De otro lado la encuesta será aplicada a un grupo de 43 actores vinculados al desarrollo de la industria aeronáutica dado que el universo considerado es 100, con una heterogeneidad del 50%, margen de error 10% y nivel de confianza del 90%.

## Resultados

La identificación de la Demanda de productos y servicios del sector público aeronáutico se constituye en un elemento clave y habilitador para el desarrollo de la industria, ya que a través de este puede direccionarse los recursos públicos necesarios para garantizar una demanda mínima de productos a los proveedores que cuentan con los portafolios de bienes y servicios adecuados en condiciones de precio y calidad, haciendo sostenible su permanencia en el mercado. Como se aprecia en la gráfica 3, hay

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

coincidencia en la alta importancia (más del 97%) de estas acciones de política en el desarrollo de esta industria.

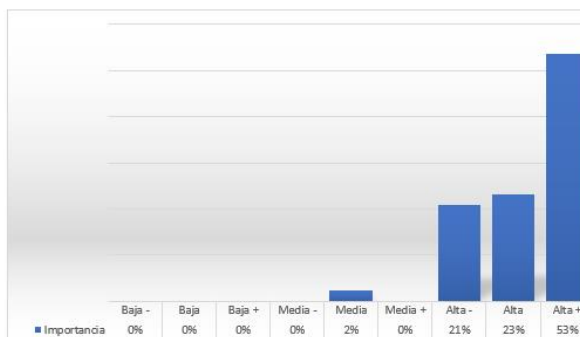


Ilustración 46– Importancia de la Identificación de la demanda de Productos y servicios del sector aeronáutico colombiano. Fuente: Elaboración propia.

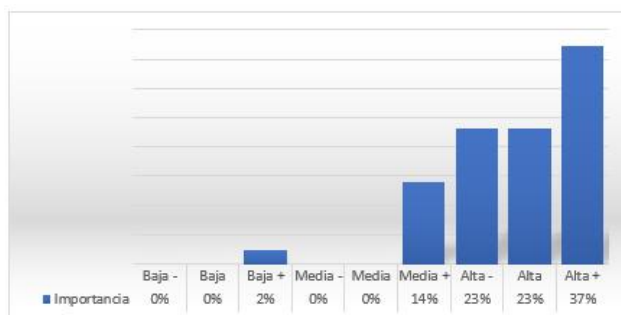


Ilustración 47 Importancia de la mejora y visibilización de los procesos de planeación de compras del sector público aeronáutico. Fuente: Elaboración propia.

La mejora, así como visibilización de los procesos de planeación de compras del sector público aeronáutico, aumenta la transparencia en el mercado, permitiendo que nuevos jugadores puedan ingresar a este, ofreciendo nuevas alternativas en innovación, precio y calidad que con certeza lo dinamizarán, ampliando los portafolios y posibilitando alianzas entre estos para el mejoramiento de sus capacidades. Como se desprende de los resultados encontrados, hay una mayor amplitud entre los que consideran de alta (83%) y media (14%) importancia.

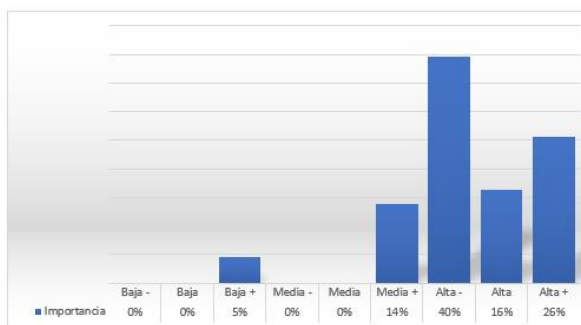


Ilustración 48 Importancia del diseño de estrategias y mecanismos de contratación pública que garanticen el flujo adecuado y oportuno de 45 bienes y servicios al sector público aeronáutico. Fuente: Elaboración propia.

El diseño de estrategias y mecanismos de contratación pública que garanticen el flujo adecuado y oportuno de bienes y servicios al sector público aeronáutico será el resultado de acciones concretas de política pública que se establezcan por parte del estado para incentivar la demanda-oferta de productos y servicios, a través de diversos programas.

Particularmente la normativa vigente para la contratación pública se ha venido convirtiendo en un serio obstáculo para el desarrollo de la industria, dado que no garantiza la ejecución de iniciativas de largo plazo, la cual son fundamentales para avanzar en la consolidación del sector. En la gráfica 5, se aprecia que su importancia se establece entre alta (82%) y media (14%), desplazándose hacia esta última.

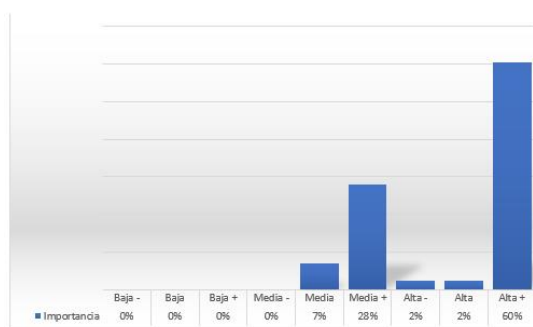


Ilustración 49 Importancia de la promoción y fortalecimiento de la certificación de proveedores en las normativas requeridas globalmente. Fuente: Elaboración propia.

Estudios previos de la industria enfocados en los clústeres (Moncada, 2019) señalan que, aunque las empresas son “conscientes de la importancia de las certificaciones como parte de la competitividad de la empresa en el sector y como un elemento constitutivo de ventaja competitiva” (p. 21). En particular las certificaciones AS9XXX son esenciales para abastecer a los



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

diferentes niveles de la cadena de suministro de la industria aeronáutica e indispensables para lograr el acceso a las cadenas globales de valor.

Sin embargo, los resultados de la gráfica 6, muestran una dispersión entre los que consideran esta variable de alta importancia (64%) y los de media (35%), divergencia que puede ser explicada por el valor estratégico que otorgan aquellas que ya cuentan con ellas y las que aún están en proceso de obtenerlo.

El estudio reveló que la importancia del factor de homologar el cumplimiento de las normas ambientales a nivel mundial para la producción nacional (ver gráfica 7) es media con un 54%, mientras que la importancia alta es de apenas 35%, lo cual puede ser explicado en la escala de prioridades de acciones de política pública por parte de los diferentes actores del sector. Este hecho puede ser corroborado, porque aún el nivel de oferta de productos es bajo y sin alcance global, lo cual hace que este no sea tan determinante en el acceso a los mercados actuales, pero que puede convertirse en un obstáculo crítico para el ingreso a nuevos mercados.

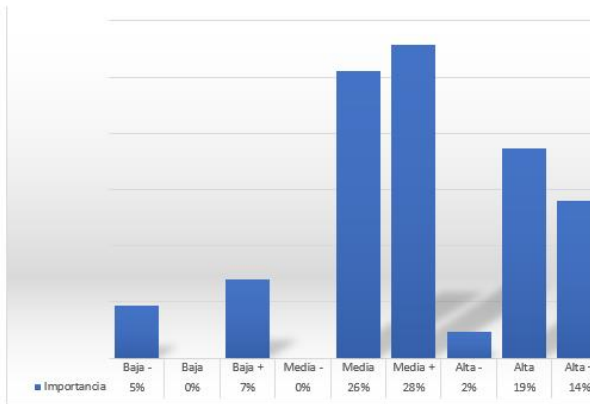


Ilustración 50 Importancia de homologar el cumplimiento de las normas ambientales a nivel mundial para la producción nacional. Fuente: Elaboración propia.

La industria aeronáutica caracterizada por la globalización, la especialización y la sofisticación, demanda que los participantes en ella construyan relaciones de largo plazo, que les permitan realizar las inversiones requeridas en I+D, tecnología e infraestructura para atender el desarrollo de nuevos productos, que satisfagan las crecientes demandas del mercado.

Las alianzas entre empresas del mismo sector y de diferentes sectores a través de mecanismos como los encadenamientos productivos, se vuelve vital para lograr de manera colectiva, el nivel de capacidades organizacionales requeridas para alcanzar la competitividad.

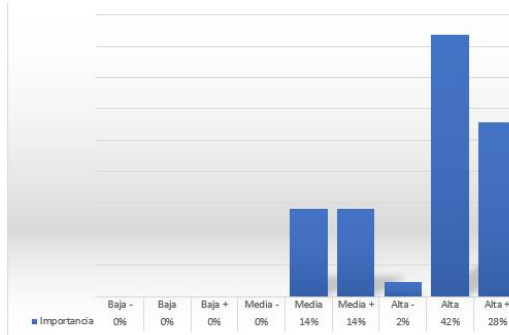


Ilustración 51 Importancia de fomentar alianzas en el sector que promuevan precios competitivos para los proveedores locales. Fuente: Elaboración propia.

Las acciones de política pública deben incentivar la colaboración empresarial que permita alcanzar precios competitivos a los proveedores, que, aunados al cumplimiento de los altos estándares de calidad, les permitan alcanzar el acceso a los nuevos mercados.

La gráfica 8, muestra que su importancia es alta (72%) y media en un 28%, cifra que puede ser explicada, por el desarrollo de la industria basado en los clústeres, aún en etapa incipiente o gestacional.

Este factor guarda relación directa con el desarrollo de planes de integración en el sector que permitan controlar costos de fabricación, insumos y riesgos en la cadena de suministro, como se aprecia en la gráfica 9, donde su importancia es alta (77%).

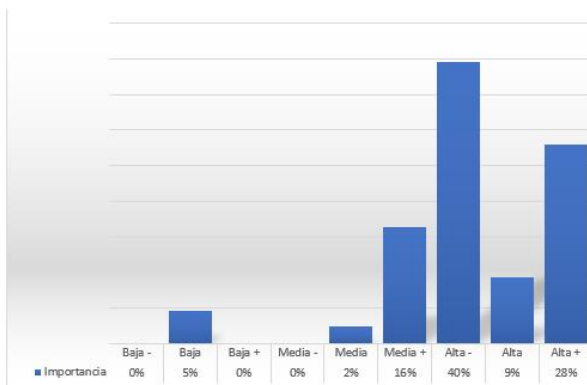


Ilustración 52 Importancia del desarrollo de planes de integración en el sector que permitan controlar costos de fabricación, insumos y riesgos en la cadena de suministro. Fuente: Elaboración propia.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

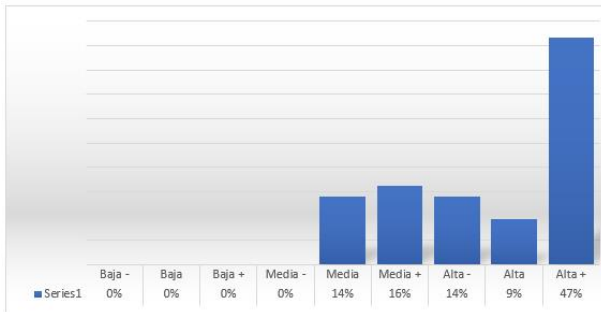


Ilustración 53 Importancia de potenciar la producción destinada a la inserción en las cadenas globales. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el factor de potenciar la producción destinada a la inserción en las cadenas globales de valor muestra una amplia dispersión de los resultados entre alta (70%) y media (30%), lo cual puede ser entendido de nuevo como una priorización de los actores, al considerar que primero deben ser resueltas e implementadas otras acciones de política pública.

## Discusión y Conclusiones

Los resultados de la encuesta muestran que la identificación de la demanda de productos y servicios del sector público aeronáutico es considerada como el factor prioritario en el desarrollo de los encadenamientos productivos para la industria aeronáutica, dado que a partir de allí se generan y consolidan las capacidades de las industrias participantes en el sector para suministrar los productos y servicios que está demanda, de forma sostenible. Sigue en importancia la promoción y fortalecimiento de las certificaciones de proveedores en las normativas requeridas globalmente dado que, a través de ellas, los productos y servicios cumplen con las exigentes normativas vigentes en el sector y se constituyen en condiciones indispensables para que un productor de cualquier nivel pueda comercializar sus productos.

Aunque la Fuerza Aérea Colombiana, ha jugado un papel fundamental en el incipiente desarrollo de la industria, mediante su estrategia de sustitución de importaciones. La cual podría llegar a consolidarse para mejorar la visibilidad de los procesos de planeación de las compras del sector público aeronáutico.

La promoción de la integración a economías de escala para el abastecimiento de insumos, productos y servicios, así como potenciar la producción destinada a la inserción en las cadenas globales son claves en la

medida que los procesos de generación de demanda y cumplimiento de normativas de certificación habilitan el potencial acceso a estas cadenas globales.



Ilustración 54 Priorización de acciones de política pública en Encadenamientos Productivos. Fuente: Elaboración propia.

Los procesos de fortalecimiento de alianza entre las empresas del sector promueven la obtención de precios competitivos para los proveedores locales, lo cual puede inducir a la generación de ventajas competitivas en costo, a la vez que mediante esta integración se pueden controlar costos de fabricación, insumos y riesgos en la cadena de suministro.

En Colombia, la aplicación de los encadenamientos productivos es limitada y dispersa, dado que las empresas no los consideran como herramientas que les permiten ser más eficientes para el acceso a nuevos mercados, mediante la construcción de relaciones de largo plazo, desaprovechando de esta forma, las oportunidades comerciales generadas por los acuerdos vigentes.

Las complementariedades entre los sectores productivos vinculados al sector aeronáutico, tales como el metal mecánico y el automotriz, potencialmente se traduciría en mayores economías de escala, mejora en la innovación y la aceleración de transferencia de tecnología y conocimiento que en conjunto facilitaría la adquisición de las capacidades productivas requeridas para acceso a nuevos mercados.

Como lo estableció la política de desarrollo productivo, la innovación, la mejora del capital humano, la promoción del emprendimiento, el fortalecimiento del mercado interno y la internacionalización son elementos claves para el mejoramiento competitivo, que, en conjunto con la intervención del estado, para la creación de mecanismos, instrumentos y herramientas le permiten alcanzar el crecimiento deseado con el propósito de lograr el desarrollo del sector. Las brechas y fallas de mercado hacen que los encadenamientos productivos no sean eficientes, limitando las posibilidades de alcanzar los beneficios al operar como cadena, desaprovechando las externalidades que un sector puede generar en otro.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

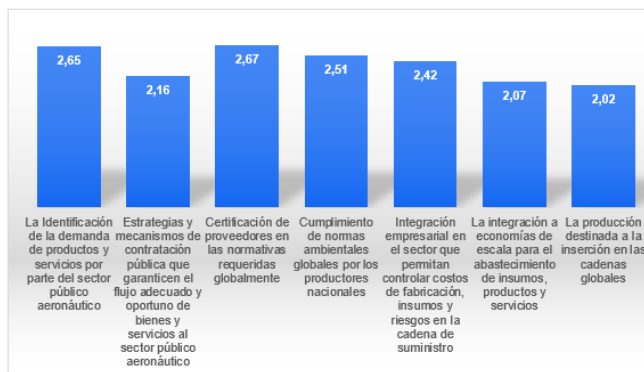


Ilustración 55 Avance en desarrollo de acciones de política pública encadenamientos productivos. Fuente: Elaboración propia.

La baja coordinación entre los actores del sector y de este con otros sectores limita las posibilidades de generación de economías de escala, la creación de oportunidades de negocio, la transmisión de avances tecnológicos, el incremento en productividad además de la integración de la producción nacional en cadenas regionales o globales de valor. El mejoramiento de la productividad de las empresas demanda programas, iniciativas y programas que se encuentren alineados al Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia – Pacto por la Equidad”.

## Referencias

ANDI. (2015). Estrategia para una nueva industrialización. Bogotá: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. Recuperado de <http://www.andi.com.co> › Uploads › Estrategia para ...

ANDI. (2017). Estrategia para una nueva industrialización II. Bogotá. Recuperado de <http://proyectos.andi.com.co> › Paginas › assets › docs

Bedoya, C. (2017). Colombia moderna, mas productiva, mas innovadora y sostenible.

Benavides, S. (2009). Encadenamientos productivos y clústers: Una estrategia para fortalecer las micro y pequeñas empresas del turismo rural. Revista geografica de America Central (42), 113-130. Recuperado de <https://www.revistas.una.ac.cr> › article › download

Blyde, J. (2014). Fábricas Sincronizadas: América Latina y el Caribe en la Era de las Cadenas Globales de Valor. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.

CAESCOL. (2019). Productos y Servicios. Rionegro. Recuperado de <https://repositorio.craifac.com/bitstream/handle/20.500.12963/392/110896.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cardenas, A. (2015). Encadenamientos Productivos: La Guía práctica. Bogotá: Cesa. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10726/1357>.

Colombia Productiva. (4 de abril de 2015). Colombia Productiva. Recuperado el 20 de junio de 2019, de Industria nacional podría proveer partes, componentes y piezas para la Fuerza Aérea Colombiana: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-comunica/noticias/industria-nacional-podria-proveer-partes-componen>

Colombia productiva. (7 de junio de 2018). Colombia Productiva. Recuperado el 4 de Julio de 2019, de Sofisticación de industria metalmecánica y autopartista de Risaralda: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-servicios/ptp-proyectos/manufacturas/sofisticacion-industria-autopartes-aeronautica-ris>

Colombia Productiva. (23 de abril de 2018a). Colombia Productiva. Recuperado el 28 de junio de 2019, de Industrias del movimiento: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-sectores/manufactura/industrias-del-movimiento>

Colombia Productiva. (21 de agosto de 2018b). Colombia Productiva. Recuperado el 21 de junio de 2019, de Fortalecimiento del Encadenamiento Productivo en la Industria Aeroespacial Colombiana: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-servicios/ptp-proyectos/manufacturas/fortalecimiento-del-encadenamiento-productivo-en-l>

Colombia Productiva. (4 de marzo de 2019). Colombia Productiva. Recuperado el 27 de junio de 2019, de PTP y ACOPAER buscan 10 empresas para el desarrollo de proveedores en la industria aeronáutica colombiana: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-servicios/ptp-convocatorias/para-empresas/ptp-y-acopaer-buscan-10-empresas-para-el-desarroll>

Consejo privado de competitividad. (2018). Informe Nacional de Competitividad 2018-2019. Bogotá.

Dinero, R. (3 de octubre de 2018). Colombia prepara motores para despegar en los negocios aeroespaciales. Dinero. Recuperado de <https://radiodiezdemarzo.com/colombia-prepara-motores-para-despegar-en-los-negocios-aeroespaciales/>

DNP. (2016). Política nacional de Desarrollo Productivo - Documento CONPES 3866. Bogots. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3866.pdf>

Gereffi, G. (2001). Las cadenas productivas como marco analítico. Problemas del Desarrollo, Revista Latinoamericana de Economía, 32(125). Recuperado de <https://www.probdes.iiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/7389/6884>

Mincomercio. (2015). Encadenamientos productivos, la apuesta para el crecimiento empresarial. Bogotá. Recuperado el 16 de 6 de 2019, de <https://innpulsacolombia.com/es/casos-de-exito/caso-de-exito-encadenamientos-productivos-la-apuesta-para-el-crecimiento-empresarial>

Moncada, A. (2019). Caracterización del cluster aeronautico colombiano. Informe Técnico, Bogotá.

Ocampo, J. (2008). Hirschman, la industrialización y la teoría del desarrollo. (Uniandes, Ed.) Desarrollo y Sociedad, Primer semestre 2008, 41-65. Recuperado el 20 de mayo de 2019, de <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.13043/dys.62.2>

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Padilla, R., & Oddone, N. (2016). Manual para el fortalecimiento de cadenas de valor. Mexico: CEPAL.

Reportur. (7 de enero de 2019). Recuperado el 20 de junio de 2019, de <https://www.reportur.com/aerolineas/2019/01/07/aerocivil-colombia-mayor-proyeccion-sector-aereo/>

Trout, L. (diciembre de 12 de 2018). La importancia de los encadenamientos productivos. Obtenido de ANDI: <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/3311-la-importancia-de-los-encadenamientos-pr>

## Capítulo 5.

# Desarrollo de un Módulo ADS-B para Un Sistema UAV en el Aeródromo Guabito De La Fuerza Aérea Colombiana

David Felipe Jaramillo Galvis,  
Oscar Sebastián Sánchez Sánchez<sup>13</sup>  
Fuerza Aérea Colombiana

## Resumen

El incremento de las aeronaves en el espacio aéreo ha aumentado la necesidad de controlar y supervisar cada una de ellas, para garantizar la seguridad y salvaguardar a quienes usan este medio; para ello, se han implementado equipos de control como el ADS-B, que permite a un controlador aéreo conocer la posición de las aeronaves en su dependencia, en tiempo real. Actualmente, las actividades de aeronaves no tripuladas poseen mínimas restricciones en espacios críticos, como los aeródromos, lo que ha planteado una nueva amenaza a la seguridad. Es por ello, que este proyecto plantea una solución para que el controlador aéreo pueda visualizar los vehículos aéreos no tripulados que operan dentro de su espacio, mediante un dispositivo de menor tamaño que cumpliera con las funciones de control del ADS-B haciendo uso de la trama de datos y envío de paquetes de información de este sistema, usando la reglamentación estandarizada para llevar a cabo dicho desarrollo de la misma manera que los equipos especializados para tal fin.

**Palabras clave:** Desarrollo tecnológico, Transmisión de datos, Raspberry PI, ADS-B, Aeronaves no tripuladas.

---

<sup>13</sup> Subtenientes. Oficiales graduados del Programa de Ingeniería Informática de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Cali - Colombia



## Abstract

The increase in aircraft in airspace has increased the necessity to control and supervise each one, to guarantee safety and safeguard those who use this medium thence control equipment such as ADS-B has been implemented, which allows an air traffic controller to know the position of the aircraft in his dependency, in real time. Currently, unmanned aircraft activities have minimal restrictions in critical spaces, such as airfields, which has posed a new security threat. Therefore this project proposes a solution so that the air traffic controller can visualize the unmanned aerial vehicles that operate within its space, by means of a device of smaller size that fulfills the control functions of the ADS-B using the data plot and sending information packages of this system, using standardized regulations to carry out said development in the same way as specialized teams for this purpose.

**Keywords:** Technology development, TX, Raspberry PI, ADS-B.

## Introducción

El avance que ha tenido la tecnología en la transmisión de datos a distancia desde los inicios de la era espacial, hasta la implementación de redes inalámbricas, ha permitido potenciar la calidad de vida y optimizar los procesos de algunos sistemas (Jiménez, 2013); en la aviación, por ejemplo, se ha logrado la creación de los sistemas de navegación que ayudan a garantizar la seguridad de los vuelos y con ello facilitar el control aéreo al proporcionar las herramientas necesarias para orientar a los pilotos y tripulaciones en casos adversos, en los que no es posible identificar el lugar en el que se encuentran (Jiménez-Fernández, 2015); también dio paso a plataformas aéreas controladas a distancia, aquellas que permiten la idea de probar los modelos de aeronaves, realizar prototipos y evaluarlos sin poner en riesgo la vida de un piloto gracias a la transmisión de datos (Gutiérrez, Duarte y France, 2017). Esa constante evolución, en pasos agigantados también ha traído nuevas aplicaciones en factores de seguridad como los sistemas Automatic Dependent Surveillance – Broadcast, (en adelante ADS-B), el cual permite conocer en tiempo real, la posición y otros datos relevantes sobre el itinerario en un vuelo (OACI, 2017). Esta evolución exponencial en la tecnología de la transmisión de datos, ha brindado al campo de la aviación remotamente tripulada la oportunidad de llegar a ser tan avanzada como la misma aviación (Segura y Rivera, 2016), sin embargo, estas situaciones generan inquietudes sobre el control que actualmente se ejerce sobre las Unmanned Aerial Vehicle (en adelante UAV), las

autorizaciones de tránsito en el espacio aéreo y el conocimiento de las torres de control, ya que, en algunas ocasiones y debido al uso en entretenimiento con el que estos equipos remotos son utilizados, pueden afectar la seguridad, pues, ningún ente de control está al tanto de la forma cómo actualmente usan el espacio aéreo.

Es así, como esta necesidad de conocer la ubicación de todas las aeronaves y cómo se está empleando el espacio aéreo, ha generado en las instituciones la necesidad de implementar nuevos sistemas que mejoren sus capacidades de control y seguimiento, trayendo con ella sistemas como el ADS-B, que combina el uso de GPS y transmisión de paquetes de información enviados a distancia para retroalimentar de una manera más precisa como está siendo usado el espacio aéreo (Chiesa, 2017).

Sin embargo, hasta ahora, no es muy viable utilizar el sistema ADS-B en drones comerciales o domiciliarios, puesto que, para la gran mayoría, los transpondedores y las antenas utilizadas en este sistema son demasiado grandes y pesados (Lozano, 2016), lo que trae como reto, la generación de un diseño que permita cumplir con su objetivo en estos sistemas UAV de menor tamaño.

Para alcanzar este resultado, inicialmente se estudiaron todos los detalles del sistema de control y la interacción que tiene con otros componentes, para continuar con a una etapa de diseño y codificación, que permitirá desarrollar del dispositivo, con el objetivo de brindar seguridad en la Fuerza Aérea Colombiana, apoyando la administración efectiva del espacio aéreo, mediante la identificación de sistemas UAV en tiempo real, por medio de radares y/o equipo a bordo en las aeronaves.

## Referentes Teóricos

El desarrollo teórico presentado en esta investigación se encuentra fundamentado en el uso de los siguientes sistemas y normas:

**ADS-B:** El ADS-B es la tecnología mediante la cual las aeronaves, vehículos de aeródromo, y otros objetos pueden automáticamente transmitir y/o recibir datos de identificación, posición en cuatro dimensiones, y datos de los sistemas de posicionamiento y navegación, a través de enlaces de datos (OACI, 2017), este sistema cuenta con dos capacidades, ambas haciendo uso de una frecuencia de 1090 MHz para tal fin.

**ADS-B IN:** La capacidad ADS-B IN, es la receptora de los mensajes ADS-B OUT, esta capacidad juega un papel muy importante en el sistema por completo, ya que gracias a esta función de a bordo recibe datos de vigilancia transmitidos por las funciones ADS-B OUT instaladas en otras

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

aeronaves (Aeronáutica Civil de Colombia, 2016) la cual traduce los Squitters enviados tanto por estas como por el equipo en tierra, y/o el ATC, se pueden leer los mensajes como los observados en la Figura 1, en las cuales se observan tramas de 112 bits que contienen los mensajes transmitidos por ADS-B traducidas en formato Hexadecimal.

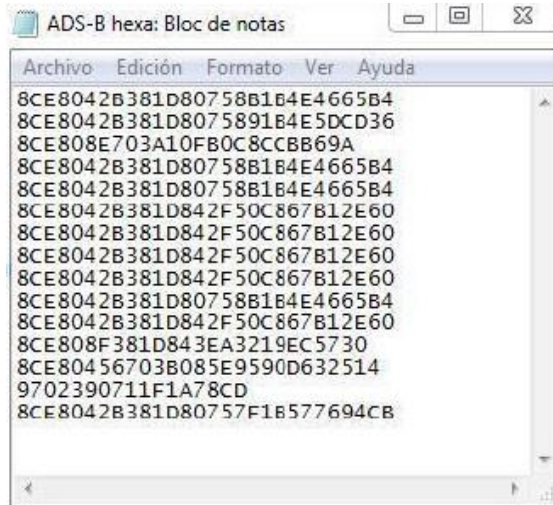


Ilustración 56 Tramas ADS-B sin procesar. Fuente: Uso y apropiación de tecnologías ADS-B en el CETAD. (Florez Zuluaga, 2014).

**ADS-B OUT:** Según la Aerocivil la capacidad ADS-B OUT se define como una función en una aeronave que transmite en radiodifusión periódicamente su vector de estado (posición y velocidad) y otras informaciones obtenidas de los sistemas de a bordo en un formato adecuado para receptores con capacidad ADS-B IN. (Aeronáutica Civil de Colombia, 2016); lo que quiere decir que esta capacidad envía la información del avión en tiempo real recopilando los datos de los equipos a bordo para realizar el Squitter destinado a ser recibido por la capacidad ADS-B IN.

**Estructura mensajes ADS-B:** La estructura de los mensajes ADS-B o Squitters está definida por la Radio Technical Commission for Aeronautics, RTCA, la cual publica la norma DO-260B en la cual define la estructura de los mensajes ADS-B, definiendo los siguientes campos que se observan en la composición en la que se divide la trama de 112 bits en 5 campos que tienen diferentes valores respecto a el equipo que se utiliza o al tipo de mensaje, ya sea ADS-B o TIS-B (ver Tabla 5).

Tabla 5 Campos trama ADS-B y composición. Fuente: Tabla extraída de la Norma DO-260B (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).

ADS-B and TIS-B Overall Message Format Structures					
Bit# →	1 ----- 5	6 ----- 8	9 ----- 32	33 ----- 88	89 ----- 112
<b>DF=17 Field Names →</b>	DF=17 [5]	CA [3]	AA ICAO Address [24]	ADS-B Message ME Field [56]	PI [24]
<b>DF=18 Field Names →</b>	DF=18 [5]	CF=0 [3]	AA ICAO Address [24]	ADS-B Message ME Field [56]	PI [24]
		CF=1 [3]	AA non-ICAO Address [24]		
		CF=2 to 3 [3]	AA ICAO Address [24]	TIS-B Message ME Field [56]	PI [24]
		CF=4 [3]	TIS-B and ADS-R Management Messages		PI [24]
		CF=5 [3]	AA non-ICAO Address [24]	TIS-B Message ME Field [56]	PI [24]
		CF=6 [3]	Rebroadcast of an ADS-B message from an alternate data link using the same TYPE Codes and Message Formats as are defined for DF=17 ADS-B Messages, with the exception of bits modified as identified in §2.2.18.		
		CF=7 [3]	Reserved		
<b>DF=19 Field Names →</b>	DF=19 [5]	AF=0 [3]	AA ICAO Address [24]	ADS-B Message ME Field [56]	PI [24]
		AF=1 to 7 [3]	Reserved for Military Applications		
	MSB LSB	MSB LSB	MSB LSB	MSB LSB	MSB LSB

Los campos están divididos como se puede observar en la Tabla 6. Asignación de Bits trama ADS-B, en la cual desglosa las partes en las que es dividida la trama de 112 bits.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

CAMPO	RANGO DE BITS
DF	1 - 5
CF o CA	6 - 8
ICAO	9 - 32
ME	33 - 88
PI	89 - 112

Tabla 6 Asignación de Bits trama ADS-B. Fuente: Los autores, basado en la Norma DO-260B (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).

El campo downlink format, DF, con 5 bits se refiere a los posibles valores 17, cuando el mensaje proviene de un transponder basado en Modo S, 18, cuando el mensaje tiene origen en un sistema que no es basado en transponder en Modo S o, 19, para cualquier mensaje que sea basado en una aplicación Militar. El campo CA o CF, con 3 bits describe la capacidad en la que, si el valor del campo DF es 17, el campo CA tendrá valores entre 0-7 en los que significará la capacidad de transmisión del equipo basado en un transponder en Modo S, este campo reporta la capacidad y notificación de una condición transponder que requiere interrogación por parte de un transponder en tierra. Para el caso del campo CF consta de los mismos 3 bits en los que expresará si los mensajes son de tipo ADS-B o TIS-B, incluyendo una relación con el campo ICAO, en la que expresa si este mensaje sea ADS-B o TIS-B, posee una identificación ICAO. En casos que el campo DF tenga el valor de 19, el campo CF o CA, se denomina AF, el cual tiene dos posibilidades, tener un valor de 0, o tener un valor en el rango de 1 a 7, en el primer caso el Squitter responde a una estructura de mensaje ADS-B, para el segundo caso la estructura del Squitter es propia de una aplicación militar.

El campo ICAO o Address Field, Announced, AA, es un campo de 24 bits en el cual trata de explicar y transmitir de una manera ambigua la identificación de la aeronave, es decir; su país, su número de cola, que modelo y tipo de avión es. Toda esta información se encuentra estandarizada por la OACI, la cual publica en el informe final de la tercera reunión de directores de aviación civil de Norteamérica, Centroamérica y caribe, en el anexo 10, la tabla con el código binario que corresponde e identifica a cada país (OACI, 2008).

El campo ME, es la parte más importante dentro del mensaje, este consta de 56 bits, y presenta un preámbulo que se describe en el Anexo 1. Tipos de mensajes ADS-B, en el cual es posible denotar el tipo y subtipo de los mensajes respecto al contenido del mismo; es decir, gracias a que los Squitters pueden transmitir distintos datos sobre el estado de una aeronave en vuelo, como su posición, latitud y longitud, los cuales se transmite bajo el formato compact position reporting, CPR, su altitud, refiriéndose a esta

respecto al tipo de sistema de medición de altitud, barométrico o sistemas GNSS, su dirección, su velocidad de ascenso y/o descenso.

Tabla 7 Subcampos en el campo ME. Fuente: Tabla extraída de la norma DO-260B, (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).

Airborne Position Message "ME" Field							
Msg Bit #	33-37	38-40	41-52	53	54	55-71	72-8
"ME" Bit #	1-5	6-8	9-20	21	22	23	40-56
Field Name	TYPE Code [5]	CF [3]	Altitude [9]	Time (T) [1]	CPR Formato (F) [1]	CPR Encoded Latitud [17]	CPR Encoded Longitud [17]

Específicamente el campo ME, se divide en 7 Subcampos, como se puede observar en Tabla 7. Subcampos en el campo ME, el primero el campo TYPE CODE, va ligado con el segundo campo, SUBTYPE, En este se define el rango del radio y el sistema de medición de altitud, expresando los tipos de mensajes y/o intenciones, luego de este campo se encuentra el campo de altitud, este campo que consta de 12 bits, el cual expresa la altitud de la aeronave en pies, el campo TIME, prosigue con un tamaño de un bit, en el que se expresa si la información está sincronizada o no en un periodo exacto de 0.2 segundos, posterior se encuentra el campo CPR, también de un bit, indica si la información es codificada de manera par o impar y va de la relacionado con el campo TIME, luego de este se encuentran los campos destinados para longitud y latitud con un tamaño de 34 bits, en los que estos datos de posición son expresados en formato CPR. Finalmente, el campo PI, incluye en un campo de 24 bits, la información correspondiente a la etiqueta del código (CL), y el código del interrogador (IC). (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).

**Etapa RF:** Según lo establecido por la RTCA, las características que deben tener los mensajes ADS-B son las presentadas en la Figura 2. Características mensaje ADS-B, en la que establece las condiciones para el envío de los mensajes.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

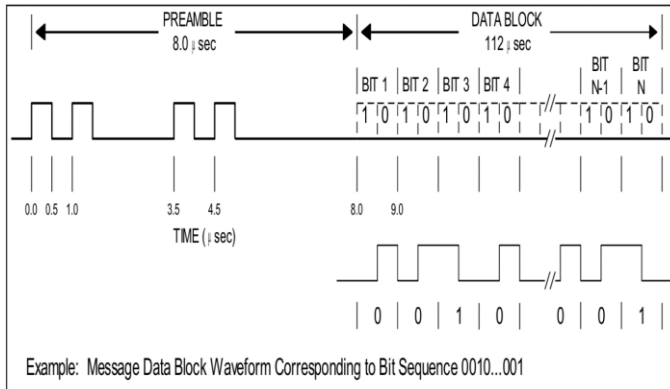


Ilustración 57 Características mensaje ADS-B. Fuente: Figura extraída de la Norma DO-260B, (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009).

Los mensajes ADS-B deben contar con un preámbulo de 4 pulsos, cada uno de ellos teniendo una duración de  $0.5 \pm 0.05$  microsegundos, específicamente para los pulsos dos, tres y cuatro deben ser espaciados entre cada uno de ellos 1.0, 3.5 y 4.5 microsegundos respectivamente, desde el primer pulso transmitido. Luego de estos prosigue el bloque de datos del mensaje, que según lo anterior debería comenzar 8.0 microsegundos después del primer pulso transmitido, para esta parte específica debería asignarse una duración de 112 microsegundos, para que, en consecuencia, los mensajes sean enviados y recibidos según la DO-260B.

**Sistemas UAV:** Los modelos aéreos a escala son tan antiguos como la aviación, ya que simultáneamente la aviación no tripulada comparte sus orígenes con la aviación tripulada (Cuerno Rejado, Garcia Hernández, Sánchez Carmon, Sánchez Lopez, & Campoy Cervera, 2016), pues desde los orígenes de esta, se hacían algo parecido a prototipos, como se puede observar en la Figura 3. Avance Modelos UAV, esto dado a la función que cumplían, pues servían para comprobar la física y las capacidades de las superficies aerodinámicas, con estos modelos los pioneros fueron capaces de mejorar los que luego serían los primeros aviones tripulados.

El título como padre de las aeronaves no tripuladas lo tiene el inventor Nicola Tesla con el “teleautomaton” que fue el primer misil de crucero creado en el año 1898, el cual era capaz de moverse, detenerse o girar y de enviar señales de radio. Más tarde, con la llegada del torpedo guiado, los primeros sistemas de armas de largo alcance como kettering BUG americano, hasta llegar al V-1 alemán en la segunda guerra mundial, la primera bomba controlada por radio, se demostró la capacidad que se obtenía al disponer de sistemas que no requerían control directo.

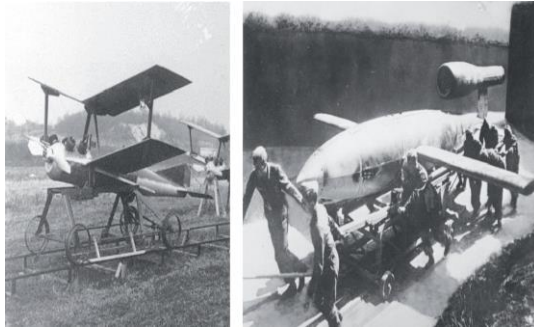


Ilustración 58 Avance Modelos UAV. Fuente: (Cuerno Rejado, García Hernández, Sánchez Carmon, Sánchez López, & Campoy Cervera, 2016).

A finales de los años 60<sup>s</sup> el concepto de la guerra había cambiado, pues ya no se tenían las amenazas convencionales, sino que se tenía una constante presión por un conflicto nuclear y con ello fue necesario cambiar la doctrina aérea, el reconocimiento aéreo en las zonas críticas del enemigo suponía la presencia de radiación, o así se pensaba, por lo que era imperativo proteger la vida de los pilotos sin exponerlos. Como medida, la fuerza aérea de los estados unidos diseñó el “HALE” (High Altitude Long Endurance), posteriormente, fueron diseñados modelos que eran tripulados y un igual no tripulado, basándose en modelos empleados anteriormente, en este punto, las aeronaves tenían una gran autonomía alcanzaban altitudes extremas, que les permitía mejores misiones a menor riesgo de ser descubiertas.

En la actualidad, la aviación no tripulada ha presentado avances agigantados; autonomías que alcanzan las 30 horas así también altitudes más allá de lo que cualquier aeronave tripulada es capaz; existen sistemas aéreos tan grandes como las aeronaves convencionales, tan pequeñas como una libélula, algunas con la capacidad de entregar armamento con gran precisión igual que otros que cumplen misiones de control sobre cultivos y los que son capaces generar cartografía aérea con gran exactitud.

Los sistemas aéreos no tripulados cuentan con dos grandes componentes, el segmento tierra, el segmento aire, dentro del segmento tierra están todos los elementos de control de navegación, los ordenadores, equipos para mantener comunicación y saber el estado de vuelo de la aeronave; los dispositivos para la recepción de la información que se obtiene de la misión; mientras que el segmento aire lo compone, principalmente, la aeronave, los equipos a bordo, como la carga útil, cámaras, sensores, armamento, los equipos de comunicación con tierra aparte aquellos que transmiten la información vital de la misma, sensores de telemetría. La interfaz actual de los sistemas UAV recreativos, permite tener conocimiento de parámetros de control aparte de eso estado del dispositivo, muestra datos como nivel de batería, altitud, modo de vuelo y en general como se puede observar en la imagen Figura 4. Condiciones de vuelo de un sistema UAV, muestra la imagen que obtiene la cámara.



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

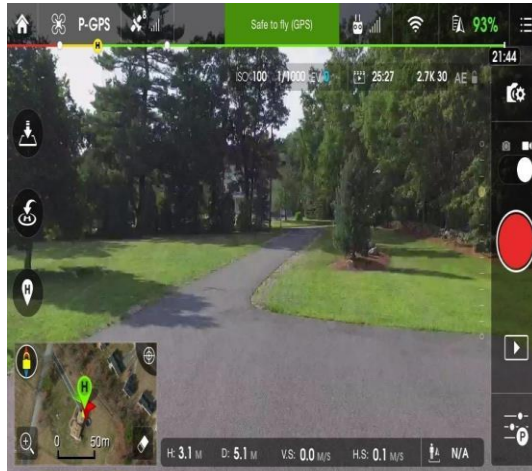


Ilustración 59 Condiciones de vuelo de un sistema UAV. Fuente: Imagen tomada de: A look inside the DJI GO App, Alan Philips, septiembre 15 de 2015, en <https://dronelife.com/2015/09/15/a-look-inside-the-dji-go-app/>.

La Fuerza Aérea Colombiana cuenta con dos tipos de aeronaves, que cumplen con tareas de reconocimiento e inteligencia, también con la posibilidad de entregar armamento aire tierra, los cuales tienen autonomías que superan las 18 horas de vuelo, alcanzan techos de hasta 25.000 pies sobre el terreno, que son empleados para acompañamiento de las operaciones aéreas también para reconocimiento de terrenos y objetivos de alto valor militar.

**Espectro Electromagnético:** El espectro electromagnético, o bien, espectro radioeléctrico, es el medio por el cual es posible la transmisión de cualquier tipo de información radiodifundida, es decir, ondas de radio, que abarca desde la transmisión y recepción de señales humanitarias o que pretendan salvaguardar la vida, hasta señales de comunicaciones como la red 4G o la televisión digital terrestre. (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2019)

En cada país, el uso de las radiofrecuencias está regulado por una institución dedicada netamente al tema, en el caso de Colombia, es la Agencia Nacional del Espectro, ANE; la cual, dentro de sus funciones, debe asignar y controlar el uso de cada frecuencia, otorgar concesiones de estas además velar porque la información que por el espectro transite, sea legal, adecuada que no interfiera con otras frecuencias especiales.

La ANE en Colombia ha regulado la atribución de las frecuencias del espectro en Colombia, en las cuales las bandas de frecuencia se encuentran distribuidas de la siguiente manera, como se pueden observar en la Tabla 8.

Tabla 8 Rango de frecuencias en Colombia. Fuente: Tabla de atribución de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, Agencia Nacional del Espectro, Colombia, S.F.

FRECUENCIA	SIGLA	RANGO
Very Low Frequency	VLF	3 kHz - 30 kHz
Low Frequency	LF	30kHz - 300 kHz
Medium Frequency	MF	300 kHz - 3 MHz
High Frequency	HF	3 Mhz -30 MHz
Very High Frequency	VHF	30 MHz - 300 MHz
Ultra High Frequency	UHF	300 MHz - 3 GHz
Super High Frequency	SHF	3 GHz - 30 GHz
Extremely High Frequency	EHF	30 GHz - 300 GHz

Para la radiodifusión aeronáutica, las comunicaciones, la navegación de las aeronaves, el Ministerio de Tecnología de la Información y las Comunicaciones, MinTIC, establece mediante el decreto número 1029 de 1998, las pautas tanto como requisitos de frecuencias que serán únicamente para el uso específico de equipos de comunicación, navegación y control del espacio aéreo y ayudas aeronáuticas, dentro de las cuales se especifica que

La banda de 960 a 1215 MHz se reserva para el uso y el desarrollo de equipos electrónicos de ayudas a la navegación aérea instalados a bordo de aeronaves asimismo de las instalaciones con base en tierra directamente asociadas (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 1998)

En la cual se encuentra la banda empleada por los equipos ADS-B, que ocupa su lugar en la frecuencia de 1090 MHz, es decir según la Tabla 8. Rango de frecuencias en Colombia, ocupa su lugar en la banda de VHF para Colombia según la ANE.

## Materiales y Métodos

Los aeródromos viven bajo una amenaza constante, por la incursión de UAV en los espacios de las pistas o zonas operativas sin autorización previa o conocimiento de la torre de control (André y Robinson, 2017), por tanto, se busca proveer una medida que controle su presencia en el espacio aéreo riesgoso y reduzca las probabilidades de colisión.

El proyecto se desarrolló bajo un método de investigación deductivo (Abreu, 2014), de tipo exploratorio con enfoque cualitativo, (Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2017). Debido al poco conocimiento y fundamentación teórica existente sobre ADS-B y UAV, se requirió de recolección de información documental en normas como la DO-260B de la RTCA, en la que se estipula las características

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

mínimas y operacionales del sistema ADS-B y plantea cada uno de los campos que componen un mensaje del sistema y como opera el mismo.

Asimismo, se recurrió a las apreciaciones, tanto del personal involucrado en las labores de control del espacio aéreo del aeródromo el Guabito de la FAC, como de ingenieros aeronáuticos e investigadores del Centro de Estudios Aeronáuticos, CEA.

A partir de esta información se identificaron las fases que se llevaron a cabo para desarrollar la propuesta, presentadas en la Figura 44.

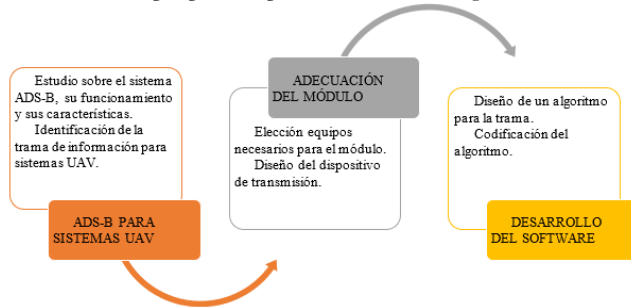


Ilustración 60 Etapas de desarrollo. Fuente: Elaboración de los autores.

Como objeto de estudio, se tomó el aeródromo el Guabito de la FAC, ubicado en una zona urbana de la ciudad de Cali, donde hay presencia de UAV usados en el sector por entretenimiento, y además cuenta con la operación de uno de estos sistemas, que, aunque funciona bajo la debida autorización, la torre de control no tiene un contacto instrumental, ni visual con él.

Actualmente, existen entidades gubernamentales que se encargan de administrar el espectro electromagnético, por medio del cual es posible realizar la transmisión de datos e información radiodifundida a través de ondas y señales, como las comunicaciones celulares o la televisión digital terrestre (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2019). Para el caso de Colombia, este espectro se encuentra dividido y seccionado por la Agencia Nacional del Espectro - ANE-, quien ha determinado dividir el espectro en diferentes bandas que abarcan desde los 3 kHz hasta los 300 GHz, rangos en los cuales se encuentra un fragmento desde los 960 a los 1215 MHz, dedicados y reservados para equipos electrónicos que sirven como ayuda a la navegación aérea, destacando primariamente instalaciones tanto en tierra, como a bordo de las aeronaves (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 1998).

Dentro de la división de 960 a 1215 Mhz, se establece la frecuencia de 1090MHz propia del sistema Automatic Dependent Surveillance – Broadcast, ADS-B, tecnología por la cual, las aeronaves, vehículos y otros elementos presentes en un aeródromo o aeropuertos, transmiten información utilizando como apoyo los sistemas de ubicación tanto como navegación con los que cuentan, para ser enviados por medio de enlaces de

datos (OACI, 2017), este sistema está basado en el uso de transponders, los cuales son dispositivos de comunicación con fines aeronáuticos, que se encuentran a bordo de las aeronaves, permitiendo el monitoreo y control de las mismas; con estos, el sistema ADS-B utiliza la información obtenida de los equipos a bordo para conformar los Squitters; que son elementos donde se contienen datos, que son enviados a estaciones en tierra y/o a otras aeronaves en vuelo, acerca de las intenciones de la estación transmisora.

Para el caso de la transmisión, el sistema debe contar con una o ambas de las capacidades, IN & OUT, para el otro caso de transmisión de los Squitters es necesaria la capacidad OUT, la cual, conforma y traduce toda la información del sistema, y la agrupa en una trama de 112 bits, que es enviada por la frecuencia 1090MHz; recibida por la capacidad IN, presente en aeronaves y equipos en tierra, como, vehículos de apoyo del aeródromo y torres de control. Esta capacidad recibe, traduce e interpreta la información contenida en los Squitters y la presenta para gestionar el uso del espacio aéreo.

Los Squitters y sistema ADS-B, están regulados por la Radio Technical Commission for Aeronautics, -RTCA-, quien se encarga de publicar los estándares respectivos; para este caso se estableció la norma DO-260B, la cual describe que la información presente en los Squitters, el formato de los mismos determina los campos de la trama. En la Tabla 8. Campos trama ADS-B, se explica la conformación de la totalidad de los Squitters, exponiendo la asignación y segmentación de los 112 bits en ella presentes.

El campo DF con 5 bits cuenta con tres posibles valores: 17 cuando el mensaje proviene de un equipo transponder basado en Modo S, 18 cuando el mensaje tiene origen en un sistema que no es basado en transponder en Modo S o, 19 para cualquier mensaje que sea basado en una aplicación Militar. El campo CA o CF, con 3 bits describe la capacidad en la que, si el valor del anterior campo DF, es 17, el campo CA tendrá valores entre 0-7 en los que traduce la capacidad de transmisión del equipo basado en un transponder en Modo S, este campo informa la capacidad y notificación de una condición transponder que requiere interrogación por parte de un transponder en tierra. Para el caso del campo CF consta de los mismos 3 bits en los que expresará si los mensajes son de tipo ADS-B o TIS-B, incluyendo una relación con el campo ICAO, en la que expresa si este mensaje sea ADS-B o TIS-B, posee una identificación ICAO de 24 bits. En casos que el campo DF tenga el valor de 19, el campo CF o CA, se denomina AF, el cual tiene dos posibilidades, tener un valor de 0, o tener un valor en el rango de 1 a 7, en el primer caso el Squitter responde a una estructura de mensaje ADS-B, para el segundo caso la estructura del Squitter es propia de una aplicación militar.

El campo ICAO o Address Field, Announced, AA, es un campo de 24 bits en el cual explica y transmite de una manera ambigua la identificación de la aeronave, es decir; su país, su número de cola, que modelo y tipo de avión es. Toda esta información se encuentra estandarizada por la OACI, la cual publica en el informe final de la tercera reunión de directores de aviación civil de Norteamérica, Centroamérica y caribe, en el anexo 10, la

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

tabla con el código binario que corresponde e identifica a cada país. (OACI, 2008)

El campo ME, es la parte más importante dentro del mensaje, este consta de 56 bits, igualmente presenta un preámbulo, en el cual es posible denotar el tipo y subtipo de los mensajes respecto al contenido del mismo; es decir, gracias a que los Squitters pueden transmitir distintos datos sobre el estado de una aeronave en vuelo entre los que se destacan datos como su posición, latitud y longitud, la cual se transmite bajo el formato compact position reporting, CPR, también su altitud, refiriéndose a esta respecto al tipo de sistema de medición utilizado, barométrico o sistemas GNSS, e incluso otros elementos como su dirección, su velocidad de ascenso y/o descenso.

Específicamente el campo ME, se divide en 7 Subcampos, el primero el campo TYPE CODE, va ligado con el segundo campo, SUBTYPE, En este se define el rango del radio y el sistema de medición de altitud como se ha explicado anteriormente, al hablar de sistemas GNSS y/o barométricos, expresando los tipos de mensajes y/o intenciones, luego de este campo se encuentra el campo de altitud, este campo que consta de 12 bits, en el que traduce la altitud de la aeronave en la unidad de medida pies, el campo TIME, prosigue con un tamaño de un bit, expresando si la información está sincronizada o no en un periodo exacto de 0.2 segundos.

Inmediatamente después se encuentra el campo CPR, también de un bit, indica si la información es codificada de manera par o impar y va relacionado con el anterior, el campo TIME, luego de este se encuentran los campos destinados para longitud y latitud con un tamaño de 34 bits, en los que estos datos de posición son codificados en formato CPR. Finalmente, el campo PI, incluye en 24 bits, la información correspondiente a, la etiqueta del código (CL), y el código del interrogador (IC). (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009). Todos estos datos campos en conjunto conforman un mensaje ADS-B de tipo Airbone Position Message.

Este tipo de mensajes y el sistema ADS-B han sido utilizados en diversos proyectos académicos con la finalidad de que los drones sean identificables por los sistemas de control presentando su posición en tiempo real. (Martín 2017; Usach 2019; Pérez, 2019).

Asimismo, se han desarrollado estos proyectos de manera empresarial, como la unidad ping2020 de la compañía uAvionix, que se destaca por sus pequeños transponders para UAV; y se caracteriza por ser la solución más liviana y pequeña en el mercado (uAvionix, 2018).

Existen dos componentes necesarios para el control del espacio aéreo, un segmento aire y un segmento tierra, (Alonso, 2017), en este último se incluyen los equipos necesarios para comunicarse con el sistema y conocer su estado, como las antenas y/o transmisores, mientras que el segmento aire, se encuentra compuesto por la aeronave y en su mayoría, por la carga útil, (en inglés payload), en la que se destaca el uso de cámaras, sensores, armamento, y el equipo a bordo necesario para mantener la comunicación con el segmento tierra. (Ricaud y Monserrat, 2016)

En algunos casos específicos estos sistemas remotamente tripulados han llegado a representar el futuro para la aviación, pues actualmente cuentan con autonomías que alcanzan las 30 horas y altitudes de operación mayores a las que una aeronave tripulada es capaz y para la FAC dicha representación es evidente con las unidades Hermes utilizadas misiones tipo ISR (Inteligencia, Vigilancia, Reconocimiento), así como en operaciones de acompañamiento a tropas sobre el terreno y apoyo aéreo cercano, esto último con los Hermes 450, gracias a que tres de ellos tienen pods o adaptaciones estructurales con la capacidad para portar y entregar armamento, así como para portar sistemas de guerra electrónica. (Saumeth Cadavid, 2018)

## Resultados y Discusión

Según el estudio del ADS-B y la norma DO-260B se identifican los siguientes valores que, gracias a la investigación realizada, se observan dentro de la trama de mensajes ADS-B para sistemas UAV.

Iniciando en el campo DF se decide el valor de 18, en binario 10010, debido a que el sistema no se encuentra basado en un transponder en modo S específicamente, de la misma manera, el campo CF tendrá un valor de 0 en sus tres bits ya que la intención es enviar un mensaje ADS-B, con una dirección ICAO de 24 bits.

En el campo ICAO se conocen los valores para los bits 9-20 en los que juntos significan Colombia y para el caso de los bits 21-32 se desconoce su valor debido a que los sistemas UAV, no se encuentran contemplados en las bases de datos de la (OACI, 2008), lo cual requiere un trámite ante las organizaciones de aviación en cada país, para el caso de Colombia ante la Aerocivil, y conseguir la identificación única de 24 bits para este tipo de aeronave.

Continuando con el campo ME, subdividido en 7 campos, el primero de ellos con 5 bits, toma el valor de tipo 9, que indica que el mensaje tiene un radio menor a 7.5 metros, y no posee un subtipo presente por ellos los siguientes tres bits correspondientes al campo SUBTYPE toman el valor de 0, lo cual destina este tipo de mensaje ADS-B a un mensaje que transmite la posición en vuelo de la aeronave; altitud, latitud y longitud, estos datos no toman valores fijos debido a que se destinarán a ser programados y obtenidos desde elementos externos. El bit 53 toma el valor de 0 ya que el tiempo de aplicabilidad del mensaje de posición no se sincroniza con un periodo exacto de 0.2 segundos y el bit 54, tomará valores de 0 y 1 debido a que estos indican junto con los dos campos siguientes, cuando la codificación de la latitud y longitud sea par o impar.

Finalmente, el campo PI, toma el valor de 0 en la totalidad de sus 24 bits como lo indica la RTCA: “In ADS-B and TIS-B Messages (those transmitted with downlink format DF=17, or with DF=18 and CF in the

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

range from 0 to 6, or with DF=19 and AF=0) both CL=0 and IC=0. In other words, in ADS-B and TIS-B Messages the parity is overlaid with a 24-bit pattern of ALL ZEROS. (Radio Technical Commission for Aeronautics, 2009)

Como es descrito y dicho en la cita anterior, a los valores precedentes que se han tomado para este desarrollo en el campo DF igual a 18, y CF igual a 0, el campo PI toma los valores descritos anteriormente. 24 bits de 0.

Para el segundo resultado basado en lo establecido en el primer resultado es necesario completar la trama de 112 bits en campos como la altitud y posición, requiriendo la determinación de la tarjeta GPS y barométrica para la medición de dichos elementos, pero adicionalmente requiriendo un equipo que procesa la información a obtener para elaborar el mensaje. Inicialmente, se seleccionó la tarjeta de desarrollo a utilizar como se expone en la Tabla 9. Comparación tarjetas de desarrollo, en la que se determina a comparar entre las tarjetas de desarrollo más conocidas del mercado y las que mejores se encuentran para determinar que respecto a las prestaciones que la tarjeta Raspberry Pi 3, es la adecuada para el desarrollo por su velocidad de procesamiento, conectividad y lenguajes de programación.

Tabla 9 Comparación tarjetas de desarrollo.

PROPIEDAD	ARDUINO UNO Rev:3	RASPBERRY PI 2 2 Model B	RASPBERRY PI 3 3 Model B
Procesador	3.0 0,75	4.0 1	5.0 1,25
25%	ATmega328P	Quad core 900MHz	Quad Core 1.2GHz
Puertos	3.0 0,75	4.0 1	5.0 1,25
25%	28 pins,USB,HDMI	40 pins,4 USB, full HDMI	40pin-GPIO,2 USB2, Full-size HDMI
Sistema Operativo	4.0 1	5.0 1,25	5.0 1,25
25%	Arduino IDE	Rasbian, Linux, Windows	Rasbian, Linux,
Costo	5.0 1,25	4.5 1,12	4.0 1
25%	\$ 75.700	\$ 120.500	\$ 155.000
CALIFICACIÓN	3,75	4,37	4,75

Esta tabla recopila características que se determinaron importantes para el desarrollo y por las cuales determinar la tarjeta necesaria.

Luego de determinar la tarjeta de desarrollo necesaria se llevó a cabo un proceso similar con las tarjetas GPS teniendo en cuenta valores más precisos como el peso de cada uno, dicha comparación es presentada en la Tabla 10. Comparación tarjetas GPS, exponiendo dichos datos por los que se determinó que la tarjeta adecuada para el desarrollo fue la tarjeta U-Blox

EVA-8M, ya que en su calificación general obtiene 4,8 puntos y cuenta con bajo consumo energético, alta conectividad, varios canales de recepción y precisión, este último aporta exactitud y fiabilidad que primordialmente es lo deseado al hablar de sistemas aéreos.

Tabla 10 Comparación tarjetas GPS. Fuente: Elaboración propia

PROPIEDAD	U-blox		
	6M	6G	EVA-8M
Conectividad	3.0	3.0	5.0
	0,6	0,6	1
20%	GPS	GPS	GPS, GLONASS, QZSS
Suministro de energía	3.0	4.0	5.0
	0,6	0,8	1
20%	2.7 V min	1.75 V min	1.65 V min
Canales de Recepción	4.0	4.0	5.0
	50 canales	50 canales	72 canales
Tipo de antena	4.0	4.5	4.0
	Ceramica	Ceramica, TCXO	Ceramica
Precisión	4.0	4.0	5.0
	1,2	1,2	1,5
30%	2.5m	2.5m	16mmx16mmx6.45mm
Precio	4.0	3.5	5.0
	0,4	0,35	0,5
10%	\$ 57.900	\$ 68.500	\$ 45.000 aprox
Peso	4.0	4.0	3.0
	0,4	0,4	0,3
10%	1.6g	1.6g	2.0 g
Apreciación	3.5	4.0	5.0
	0,35	0,4	0,5
NOTA	3,55	3,75	4,8
	100%		



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Finalmente se compararon los distintos barómetros a escoger en los que al compararlos primordialmente especificaciones como precisión y consumo tuvieron una mayor importancia presentes en la Tabla 11, en la que resume las prestaciones por parte de tres barómetros compatibles con la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B.

Tabla 11 Comparación barómetro digital. Fuente: Elaboración propia.

PROPIEDAD	BOSH bmp085	bmp180	bmp280
Rango de PRESIÓN	5.0	5.0	5.0
20%	1	1	1
Suministro de ENERGÍA	+9000m a -500m	+9000m a -500m	+9000m a -500m
30%	4.0	4.0	5.0
PRECISIÓN	0,8	0,8	1
30%	1,80 -- 3.0V	1,80 -- 3.6V	1.71--3.6V
Costo	4.0	4.0	4.5
30%	N/D	3.6 x 3.8 mm	2.0x 2.5mm
Costo	4.0	5.0	4.5
20%	0,8	1	0,82
CALIFICACIÓN	N/D	\$ 6.500	\$ 7.800
	3,4	3,6	4

La ponderación de cada elemento es tomada en cuenta respecto a la utilidad de cada especificación para el desarrollo. Así pues, se determinó que el BOSH BMP 280 es el adecuado para el desarrollo, gracias a sus características, menor consumo energético y fundamentalmente a su precisión, aspecto muy importante en un sistema aeronáutico.

Gracias a esta elección, una Raspberry Pi 3 Model B, una GPS U-Blox EVA-8M y un barómetro BMP280, en consecuencia, se propone la arquitectura para el módulo ADS-B. La Figura 6 expresa la tarjeta en un conjunto con las dos tarjetas escogidas para generar los Squitters.

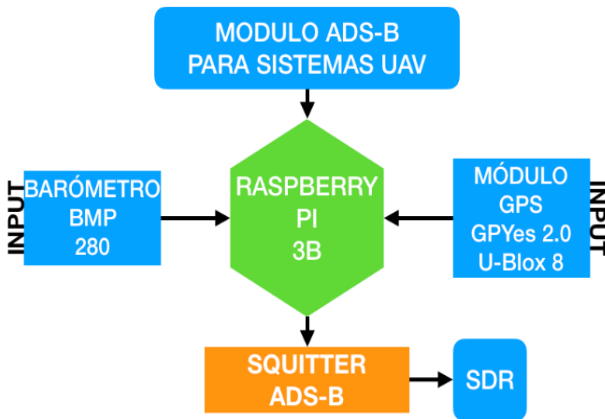


Ilustración 61 Arquitectura del dispositivo de transmisión. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el tercer resultado basado en lo establecido en los previos resultados se diseñó el código que conformó los Squitters. La Figura 3 explica el proceso general para conformar el mensaje.

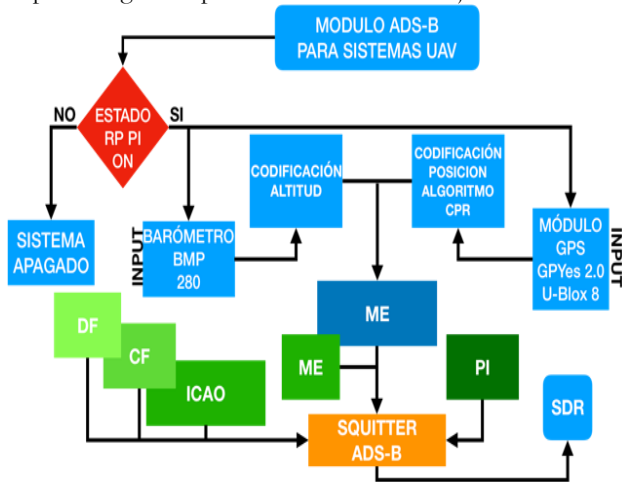


Ilustración 62 Algoritmo para conformación de Squitters. Fuente: Elaboración propia.

En la anterior figura es posible identificar el flujo de procesos por los cuales la información es obtenida por las tarjetas que ya se han determinado, y la incorporación de estos nuevos datos dentro de los ya conocidos conformando un mensaje de tipo Airbone Position completo; específicamente datos como la posición, latitud y longitud son tratados de una manera especial debido al formato, Compact Position Reporting, CPR, en el que de manera eficiente para el caso de este desarrollo y la manera en la que se realiza esta codificación se definen los valores Nb, NZ y NL, el valor Nb designa la cantidad de bits a la que será codificada tanto la latitud como la longitud respectivamente, para este desarrollo se determina Nb=17 según lo determina la norma DO-260B, el valor NZ tiene valor de 15, este es el número de zonas geográficas entre el ecuador y el polo y finalmente el valor NL, que es determinado por el valor de la presente latitud, y quiere decir el número de zonas de longitud, el cual será un valor determinado a calcularse haciendo uso del valor de la latitud obtenida por la tarjeta GPS, los valores lat y lon son obtenidos desde esta última.

En la Figura 63 se expresa el proceso por el que los datos de latitud y longitud son codificados para el equivalente de 17 bits cada uno teniendo en cuenta el bit de formato, si es par o impar sea el caso de manera general el proceso de codificación inicia al tomar el valor del bit de formato, para variar el valor de Dlat, este expresa un valor del tamaño de la zona en sentido Norte-Sur, a continuación, procede a calcular los valores YZ, Rlat. Principalmente el valor YZ es entendido como la coordenada Y dentro de la Zona, y el valor Rlat es un valor obtenido al calcular Dlat, YZ y lat, dicho

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

valor es la latitud que se enviará al sistema ADS-B receptor quien interpreta el mensaje.

El proceso para codificar la longitud es básicamente el mismo inicialmente evoca una condición en la que al valor de NL le es restado el bit con valor 0 o 1, dependiendo de ello, el valor de Dlon; el tamaño de la zona de longitud en distinto sentido que Dlat, Este-Oeste, gracias a este cálculo es posible la obtención del valor XZ junto con el valor lon, cuyo significado expresa el valor de la coordenada X dentro de la zona. Finalmente se limitan los valores de XZ y YZ para que encajen en los 17 bits y así sean añadidos a la trama ADS-B, que para este desarrollo se enfoca en sistemas UAV.

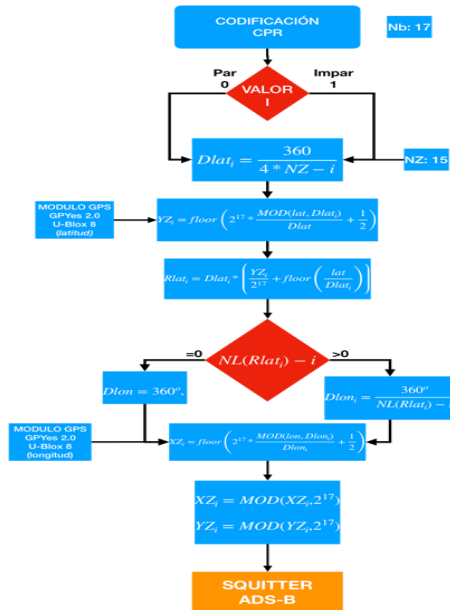


Ilustración 63 Codificación posición, formato CPR. Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Se identifica que la OACI contempla valores para aeronaves dentro de las telecomunicaciones, por lo que es necesario solicitar a la Unidad de Aeronáutica Civil una matrícula de 24 bits para identificar un sistema UAV; es decir, esto hace que dicho sistema sea abierto y contempla dentro de sus usos todos los sistemas y/o equipos que hacen uso del espacio aéreo. También, la importancia que tiene el seguimiento de la norma para la

construcción de una trama compatible con el sistema, que cumpla con los requerimientos.

Es pertinente concluir que para desarrollos y/o usos relacionados con el campo de la aviación se requiere de equipos barométricos, pues estos son más precisos, por lo tanto, se propone una tarjeta adicional para la obtención de la altitud; así como la tarjeta Raspberry pi y el dispositivo GPS pues, en términos de accesibilidad, estos son los más pertinentes para cumplir con los requisitos del sistema y también están en un rango corto de inversión.

Finalmente, al diseñar el código que llevará a cabo la recolección de la información y la conformación del Squitter, se concluye que tanto la información como los valores que estos toman no tienen una variante pues deben ser los establecidos por la RTCA, en las distintas normas que ha publicado, para este caso la DO-260B.

Adicionalmente, se concluye la importancia del conocimiento y experticia de distintas áreas en el desarrollo de este proyecto, puesto que, se abarca desde las frecuencias y pulsos en telecomunicaciones; en el campo de la electrónica, componentes físicos como la Raspberry Pi, el módulo GPS y el barómetro; en torno a una aplicación en el campo aeronáutico orientados al control y al desarrollo informático en la programación de las tarjetas y la codificación de los Squitters para su envío.

## Referencias

Abreu, J. L. (2014). El Método de la Investigación Research Method. Daena: International Journal of Good Conscience, 9(3), 195-204. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)

Alonso-Isla, A., Álvarez-Esteban, P. C., Bregón, A., D'Alto, L., Diaz, F., Garcia, I. & Vilaplana, M. (2017). Airports: Análisis de eficiencia operacional basado en trayectorias de vuelo. Recuperado de <https://biblioteca.sistedes.es/submissions/descargas/2018/JISBD/2018-JISBD-063.pdf>

André, P., & Robinson, R. (2017). El régimen jurídico de las aeronaves no tripuladas pilotadas a distancia (drones) en Costa Rica. Recuperado de <https://ij.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/09/El-r%C3%A9gimen-jur%C3%ADdico-de-las-aeronaves-no-tripuladas-pilotadas-a-distancia-drones-en-Costa-Rica.pdf>

Chiesa, G. (2017). Desarrollo de un sistema de recepción para señales ADS-B (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo). Recuperado de <https://1library.co/document/y6xglr7y-desarrollo-sistema-recepcion-senales-ads-b.html>

Gutiérrez, A. R. H., Duarte, M. A. T., & France, R. G. (2017). El uso de drones en ciencias de la tierra. Recuperado de [http://reaxion.utleon.edu.mx/Art\\_El\\_uso\\_de\\_drones\\_en\\_ciencias\\_de\\_la\\_tierra.html#:~:text=Algunas%20de%20las%20aplicaciones%20del,sobre%20medio%20ambiente%20entre%20otras.](http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_El_uso_de_drones_en_ciencias_de_la_tierra.html#:~:text=Algunas%20de%20las%20aplicaciones%20del,sobre%20medio%20ambiente%20entre%20otras.)

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2017). *Cómo se originan las investigaciones cuantitativas, cualitativas o mixtas*. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Jiménez, A. M. (2013). *Desarrollo tecnológico y su impacto en el proceso de globalización económica: Retos y oportunidades para los países en desarrollo en el marco de la era del acceso*. *Visión Gerencial*, (1), 123-150. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545895010.pdf>

Jiménez Fernández, F. J. (2015). *Estudio sobre los sistemas de comunicaciones, navegación, vigilancia y gestión del tráfico aéreo (CNS/ATM): situación actual y evolución futura*. Recuperado de [https://oa.upm.es/38212/7/PFC\\_FRANCISCO\\_JAVIER\\_JIMENEZ\\_FERNANDEZ\\_2.pdf](https://oa.upm.es/38212/7/PFC_FRANCISCO_JAVIER_JIMENEZ_FERNANDEZ_2.pdf)

Lozano, S. (2016). *Procesado en tiempo real de rutas e incidencias aéreas para la gestión de drones comerciales* (Bachelor's thesis). Recuperado de [https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26849/TFG\\_Santiago\\_Lozano\\_Terol.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26849/TFG_Santiago_Lozano_Terol.pdf)

Martín, D. (2017). *Diseño e implementación de un transmisor ADS-B para vehículos aéreos no tripulados*. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Telecomunicación (UPM), Madrid.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (10 de junio de 1998). Decreto Numero 1029 de 1998. Decreto Numero 1029 de 1998. Recuperado de

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (14 de febrero de 2019). Ministerio de Tecnologías de la Informática y la Comunicación. Recuperado el 18 de Julio de 2019, de Espectro Radioeléctrico: <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-2350.html>

OACI. (2008). *Tercera Reunión de Directores de Aviación Civil de Norteamérica, Centroamérica y Caribe*. Punta Cana: Organización de Aviación Civil Internacional. Recuperado de <https://www.icao.int/NACC/Documents/RegionalGroups/NACCDCA/NACC%20DCA3%20Informe.pdf>

OACI. (2017). *Manual Global de Operación de Enlaces de Datos*. (1).

Perez, J. (2019). *Ciberdefensa Aeroespacial*. Recuperado de: <http://revista.insude.mil.do/index.php/rscd/article/view/80/141>

Radio Technical Commission for Aeronautics. (2009). *Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B)*. Washington, DC: Radio Technical Commission for Aeronautics.

Ricaud, E., & Monserrat, D. S. (2016). *Optimización del transporte aéreo con la vigilancia de la auto-separación en fase de vuelo de crucero*. Recuperado de <https://docplayer.es/217110286-Optimizacion-del-transporte-aereo-con-la-vigilancia-de-la-auto-separacion-en-fase-de-vuelo-de-crucero.html>

Saumeth, E. (2018). *Los hermes 450 y 900*. *AeroMundo Magazine*, 24-25. Segura, N. & Rivera, O. (2016). *Integración de sistemas de comunicación e interfaz de control en vehículo teleoperado UGV*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/15390>.

uAvionix. (2018). *Ping 2020 "The World's smallest and lightest ADS-B solutions for sUAS"*. Recuperado el 29 de junio de 2018, de Sitio Web de la Compañía uAvionix: <https://uavionix.com/products/ping2020/>

Usach, H. (2019). Automated Contingency Management in Unmanned Aircraft Systems [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/130202>

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## Capítulo 6

# Estudio Prospectivo para el Diseño de una Hoja de Ruta al Año 2030 para el Desarrollo e Piezas Aeronáuticas de Fabricación Local en la Aviación de Instrucción Primaria de la Fuerza Aérea Colombiana

Valeria Ardila Duarte,  
Gabriela Cuspoca Martínez,  
Juan Camilo Gómez Basto<sup>14</sup>  
Fuerza Aérea Colombiana

## Resumen

Teniendo en cuenta que la Fuerza Aérea Colombiana para su planificación ha utilizado métodos de prospectiva, este artículo presenta los resultados de un estudio de prospectiva elaborado en la Escuela Militar de Aviación para el desarrollo de piezas aeronáuticas de fabricación local para los aviones utilizados en instrucción primaria. El método que se utilizó fue deductivo, el tipo de investigación fue exploratoria y correlacional con un enfoque cualitativo y cuantitativo. El método de diagnóstico utilizado fue la Matriz DOFA y el prospectivo fue el MICMAC y al final del proceso se generó una hoja de ruta al año 2030.

**Palabras clave:** Desarrollo Tecnológico, Innovación, Prospectiva, Piezas Aeronáuticas y Abastecimiento Aeroespacial.

---

<sup>14</sup> Subtenientes. Oficiales graduados del Programa de Administración Aeronáutica de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Cali - Colombia



## Abstract

Bearing in mind that the Colombian Air Force has used prospective methods for its planning, this article presents the results of a prospective study prepared at the Military School of Aviation for the development of locally manufactured aeronautical parts for the aircraft used in primary instruction. The method used was deductive, the type of research was exploratory and correlational with a qualitative and quantitative approach. The diagnostic method used was the SWOT Matrix and the prospective was the MICMAC and at the end of the process, a roadmap was generated by the year 2030.

**Key words:** Technological Development, Innovation, Prospective, Aeronautical Parts and Aerospace Supply.

## Introducción

La prospectiva se considera una disciplina técnico-metodológica que funciona como herramienta para el desarrollo profesional, la investigación, la docencia, incluso como una forma de vida que permite crear desde un futuro escenarios tan deseables como factibles. Siendo este el punto de partida, la prospectiva sugiere anticiparse a los acontecimientos que se puedan presentar, sobre todo los que sean poco favorables, de esta manera crear planes de acción buscando prevenirlos y al mismo tiempo crear un mejor futuro posible.

La prospectiva da claridad de que el futuro no se predice, sino que se construye, los estudios sobre el futuro exigen manejos metodológicos específicos, controles racionales para prevenir simplificaciones y futuros deseados que no se puedan realizar. Son ejercicios sistemáticos, en los cuales la estrategia es la herramienta que permite definir cuál es el futuro más conveniente. Evalúa variables cualitativas y cuantitativas, el comportamiento de los actores implicados del mismo modo reduce la incertidumbre para las organizaciones, moviéndose entre el prever lo que puede ocurrir y el deseo de construir un mejor futuro. Para que lo anterior sea posible, la prospectiva cuenta con herramientas que permiten generar un orden en su estudio, dentro de los cuales se pueden mencionar: los factores de cambio, las variables estratégicas, juegos de actores, teoría de escenarios y teoría de estrategias, cada una de ellas con características particulares que identifican diferentes variables adicionalmente reconoce estrategias que denotan un valor importante en el deseo de crear un mejor futuro.

Para poder evidenciar los resultados del estudio de prospectiva de tal manera que sean claros y verídicos es necesario hacerlo en una hoja de ruta (roadmapping) con la debida matriz DOFA, que consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que, en su conjunto, diagnostican la situación interna de una organización, así como las oportunidades y amenazas.

Una hoja de ruta es una herramienta que admite hacer un seguimiento de un proyecto en sus diferentes fases, desde el origen hasta su ajuste final. Otorga facilidad en la organización para el desarrollo y credibilidad en un producto, provee información para tomar mejores decisiones que se involucren con herramientas tecnológicas, evitando posibles errores en el proceso. Se podría asumir entonces que es el método para la planeación tecnológica, capaz de explorar el futuro de las tecnologías involucradas y permite a las empresas identificar las diferentes alternativas de desarrollo para afrontar escenarios de mercados con demandas inciertas.

La hoja de ruta, en términos de Phaal, Farrukh y Probert (2004), puede emplearse en la planificación de negocios, el impacto de las nuevas tecnologías y la evolución del mercado para su evaluación; igualmente, permite analizar las oportunidades y amenazas previamente a la realización de una gran planificación estratégica y de largo alcance. La hoja de ruta busca proporcionar un "lenguaje y estructura común para el desarrollo y la implementación de una estrategia" (Phaal y Muller, 2009, p.42). Los mapas de ruta pueden tener diferentes aplicaciones, las cuales se clasifican desde la perspectiva de Phaal, Farrukh y Probert (2001) en ocho áreas: planificación de productos, planificación de servicios y capacidades, planificación estratégica, planificación a largo plazo, capacidades y planificación del conocimiento, planificación de proyectos, planificación de procesos, planificación de la integración.

En relación con los estudios de prospectiva el Ministerio de Defensa Nacional (2011) en varias reuniones de los señores generales del Ejército Nacional se observó necesario indagar sobre los escenarios prospectivos en las Fuerzas dentro de la cual el Ejército hizo precisión en hacer un estudio de la situación interna, externa y presupuestal de la organización, logrando la obtención de ocho escenarios probables a los cuales no se les podía dar divulgación sin una previa revisión del alto mando. Si bien dentro de las Fuerzas Militares no se cuenta con un cuerpo prospectivo interno, si se analizan las estrategias o retos a un futuro no muy lejano: el 2025. Posterior a estos planteamientos se generan los retos a los que pretende enfrentarse el Ejército Nacional y dentro de los cuales se mencionan: defensa de la democracia, capacidad disuasiva y control territorial efectivo.

Se puede señalar que el Ejército Nacional pretende ser en el 2025 un Ejército de todos los colombianos, garante de la paz y la soberanía nacional, una fuerza capacitada para proteger la población y la naturaleza; motor de la paz y el desarrollo, organización moderna, con educación de alta calidad, soportada en principios y valores al servicio de la nación; altamente capacitado y dotado tecnológicamente en misiones de defensa y seguridad nacional.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

En La Armada Nacional igualmente se está efectuando un estudio prospectivo dirigido por la Universidad de los Andes del cual se ha adquirido información mediante encuestas a unos señores Almirantes. Este estudio fue adelantado por COTECMAR (2006) aplicando la prospectiva al año 2020 mediante un análisis morfológico de los escenarios posibles para esta organización, generando ideas que dieran lugar a la “invención organizada”. De este estudio se declaran los diez retos al año 2020 de COTECMAR, y son distribuidos en dos grandes grupos, retos de direccionamiento (3) y retos de apoyo (7).

Por parte de la Fuerza Aérea Colombiana, en el año 2010, se realizó un proyecto tecnológico para el desarrollo de un clúster titulado (Carro, 2010) “Modelo metodológico con enfoque prospectivista y de planeación estratégica para impulsar la competitividad del clúster aeroespacial en Monterrey”. Este modelo está buscando reducir costos a nivel mundial. La metodología creada no pretendía generar logros inmediatos, puesto que la competitividad es algo que se consigue a largo plazo. Sus objetivos fueron las acciones inmediatas, esfuerzos conjuntos, anticipando las oportunidades. En conclusión, si realmente se llega a comprender la magnitud del sentido y se actúa en consecuencia, se podrá decir que se tuvo la oportunidad, la estrategia y la tecnología para lograr la visión

Entre otros ejercicios de prospectiva, uno de estos culminó en el 2007 y fue coordinado por Mikel Ibarra F., consultor de PICS-Group para JEA (Jefatura de Educación Aeronáutica), siendo la herramienta de prospectiva la del Ábaco de Regner, este estudio permitió ilustrar a la FAC las tecnologías más pertinentes para la institución en los siguientes años, además de involucrar al escenario más probable (“Así se va a las Alturas”) como un optimismo sobre la ciencia y tecnología de la FAC.

En relación con los desarrollos científicos y tecnológicos generados con la construcción del avión T90, el desarrollo de las piezas aeronáuticas para el sostenimiento de las aeronaves es fundamental por ello se realizó un estudio para construir una hoja de ruta que permita desarrollarlas localmente con una prospectiva al año 2030 y el cual es presentado en este artículo que se estructura de la siguiente manera: una primera sección que presenta la visión de general del tema, un segundo apartado que presenta el método aplicado basado en el MICMAC, los resultados encontrados son presentados en el tercer apartado y por último unas conclusiones.

## Método

El método que se utilizó fue deductivo, el tipo de investigación fue exploratoria y correlacional con un enfoque cualitativo y cuantitativo. Las etapas metodológicas fueron: en la primera etapa se desarrolló una matriz DOFA, en la segunda etapa se definieron los factores más relevantes de la

matriz, igualmente se evaluaron los impactos directos, para así tener control sobre el resultado final de la DOFA. En la tercera etapa se definieron hipótesis de escenarios. Fuentes primarias. Entrevistas a los técnicos activos del Grupo Técnico de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” siendo éstos los directos encargados de la manipulación de las piezas que hacen parte del presente estudio. Fuentes secundarias. Se contó con otros trabajos de especializaciones y maestrías de la FAC. Población. La población estudiada es la Escuela Militar de Aviación y para la muestra se utilizó el muestreo por expertos, donde, a consideración de los autores, se eligen personas que tienen el conocimiento, experiencia y capacidad de brindar la información necesaria. El modelo prospectivo utilizado en una investigación contempla las siguientes fases: factor de cambio y variables estratégicas, las cuales se encargan de medir el comportamiento a futuro de una organización, para ello, en este trabajo de grado se utilizó el método estructural MICMAC. Teoría de escenarios. Teoría de estrategias.

## **Resultados**

### **Identificación de las variables clave y los actores que afectan el desarrollo de componentes para la aviación de instrucción primaria en la industria local.**

Las variables clave son aquellas que están sujetas a algún tipo de cambio, suelen ser inestables e inconstantes, es decir, buscan identificar factores que no están especificados dentro de un estudio, determinando si cierto producto de una investigación responde a los deseos o resultados esperados. Teniendo en cuenta que los actores son los directos implicados en tener alguna influencia sobre el desarrollo del futuro del sistema, se busca entender y analizar el futuro con la utilización de herramientas prospectivas, por medio de las cuales se visualizan oportunidades de desarrollo para los actores involucrados.

La instrucción primaria de la FAC requiere un mantenimiento, reemplazo y sustitución de las piezas de las aeronaves en cierto periodo de tiempo. Una alternativa conveniente, es utilizar como herramienta estratégica la industria local y más específicamente el Clúster Aeronáutico del Valle del Cauca, que cuenta con un excelente nivel de calidad. Mediante un estudio prospectivo, se puede determinar el periodo de tiempo en el cual se debe realizar la sustitución de una pieza, incluso antes de que esta se dañe y cada cuanto una aeronave necesita mantenimiento, adelantándose a los posibles resultados del futuro.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Lo anterior aumentaría sus capacidades, logrando cumplir con su misión de conducir operaciones aéreas con el fin de mantener el dominio del espacio y soberanía del territorio nacional.

**Matriz DOFA:** a continuación, se presenta la realización de una herramienta estratégica que permitió la identificación de variables, actores y factores que determinaron un escenario probable una vez se haga uso de las herramientas de prospectiva correspondientes (Tabla 12).

Tabla 12 Matriz DOFA. Fuente: Elaboración propia.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<p>F1. Las capacidades de la industria en el Valle del Cauca demuestran tener la quinta parte del procesamiento total de metales y sus componentes de la industria Aeronáutica en Colombia.</p>	<p>D1. Las capacidades de la industria de alta tecnología y defensa en cuanto armamento, munición y protección balística en Cali son totalmente nulas.</p>
<p>F2. Los servicios de consultoría, ingeniería, investigación desarrollo e innovación conforman una capacidad muy alta en la Industria Aeronáutica Colombiana aportada por el Valle del Cauca.</p>	<p>D2. La Industria de Cali en el campo de Alta Tecnología es la más defectuosa.</p>
<p>F3. La Metalurgia es el pilar sobre el cual se apoya el desarrollo de materiales aeronáuticos en Cali.</p>	<p>D3. El apoyo económico que se genera para los proyectos se ve sacrificado por una carencia en el presupuesto destinado a nuevos proyectos y los que están en curso.</p>
<p>F4. Sin importar las limitaciones que presupuestalmente golpean la institución, se refleja un recurrente número de proyectos encaminados al incremento del capital institucional mediante el financiamiento público y privado liderados por la FAC.</p>	<p>D4. Los niveles educativos como doctorado, en los oficiales de la Fuerza Aérea y enfocados en el campo de investigación y desarrollo son reducidos. A nivel de maestría se cuenta con una gran cantidad de recursos humanos, pero que no laboran hacia el área de Ctel.</p>
<p>F5. Se generan proyectos con altos estándares de calidad en los temas aeronáuticos bajo la supervisión de la sección de certificación aeronáutica de la defensa.</p>	<p>D5. La dependencia a la cual está sujeta la FAC del Ministerio de Defensa en sus procesos, no les permite gozar de la titularidad en el proceso de propiedad intelectual.</p>
<p>F6. Los proyectos que son realizados en la institución buscan un campo en el mercado nacional e internacional como un producto comercializable dado sus resultados a niveles estratégicos.</p>	<p>D6. El Plan Estratégico Institucional declara políticas enfocadas en el desarrollo tecnológico que no se realizan de la forma más eficiente.</p>
<p>F7. La Fuerza Aérea reglamentó internamente la política de off-set a través de la Directiva Permanente No. 22 del 2008 donde los off-set deben estar orientados a impulsar la transferencia de tecnología, la innovación e investigación en las áreas de interés estratégico de la Fuerza.</p>	<p>D7. La falta de divulgación genera incertidumbre en la gerencia de la FAC frente a los desarrollos que exitosamente realiza la institución.</p>
<p>F8. La instrucción primaria de los alumnos de vuelo en la FAC la sustenta una flota de 34 aeronaves al servicio de la preparación de la aviación de combate en Colombia.</p>	<p>D8. La investigación y el desarrollo tecnológico exigen un equipo de trabajo que disponga de un alto conocimiento en estos campos donde la Fuerza Aérea cuenta con un reducido número de este personal.</p>

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

**D9.** Son pocas las personas capacitadas en gestión tecnológica, lo que impide una óptima utilización de esta herramienta, generando que la tecnología existente no pueda ser perfeccionada o, en su defecto, creada.

**D10.** Los proyectos propuestos previstos en un mediano y largo plazo recurren a limitaciones y restricciones.

**D11.** La logística utilizada para las operaciones aéreas de instrucción primaria en la FAC ralentiza la fluida operación de las aeronaves.

**D12.** Un presupuesto invariable e hipotéticamente planificado en una línea de tiempo limita la flexibilidad de las actividades de vuelo en las escuelas de instrucción de la FAC.

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<p><b>O1.</b> Los entes educativos nacionales en conjunto con la FAC presentan proyectos de alta importancia al desarrollo tecnológico gracias a la relación existente entre las instituciones.</p>	<p><b>A1.</b> La tecnología militar en manos de países altamente desarrollados no contempla transferir dichos conocimientos y tecnología a nuestro país.</p>
<p><b>O2.</b> El off-set funciona como una fuente en la adquisición de bienes y servicios para la seguridad y defensa del territorio nacional trayendo consigo fortalecimiento institucional y desarrollo regional.</p>	<p><b>A2.</b> Los desarrollos enmarcados en el ámbito tecnológico adquieren obsolescencia en un periodo corto de tiempo, hecho que obliga al mejoramiento continuo de las tecnologías presentes.</p>
<p><b>O3.</b> En el marco de proyectos de desarrollo e innovación tecnológica, la FAC puede adoptar modelos generados por otras Fuerzas Militares que han reflejado éxito en sus procesos.</p>	<p><b>A3.</b> Los procesos de certificación en la FAC se toman dispendiosos para productos de I+D+i, sin embargo, son requeridos por la institución.</p>
<p><b>O4.</b> Generar economías abiertas con el fin de apalancar la flota de aeronaves mediante el mercado civil y militar (aeronáutico).</p>	<p><b>A4.</b> La carencia de montos financieros sólidos ligado a un desarrollo tecnológico incipiente, ralentiza la innovación de productos para la institución.</p>
<p><b>O5.</b> El sector aeroespacial apuesta por la Fuerza Aérea como una herramienta reconocida para el desarrollo de este, basado y afianzado en la experiencia que la institución ha adquirido a través de los años desde su creación.</p>	<p><b>A5.</b> El desconocimiento existente hacia la gestión estratégica y tecnológica dentro de las empresas fomenta incertidumbre frente a la forma de afrontar retos económicos como la inversión a corto plazo y los retornos que de estas se adquieren en un mediano plazo.</p>
<p><b>O6.</b> El sector aeroespacial exige un alto componente de innovación e integración de capacidades.</p>	<p><b>A6.</b> Los procedimientos frente a productos en el sector militar son diferentes a los realizados en el sector aeronáutico civil, generando impedimentos para la inclusión en este.</p>

**O7.** Al interior de la FAC la aplicación de sustitución de importaciones en otras áreas ha generado resultados positivos, experiencias que comparten otras instituciones armadas.

**O8.** Las importaciones de la materia prima regidas por una tasa etérea influyen directamente en los costos de su importación.

**O9.** El talento humano aplicado en los proyectos propuestos, generan competitividad en la industria nacional e internacional en cuanto a calidad y a precios se refiere.

**O10.** El sector aeroespacial demanda un alto grado de innovación e integración de capacidades.

**O11.** El trabajo en conjunto con Fuerzas Aéreas de otros países ha permitido a la FAC formar pilotos militares de otros países en sus escuelas de instrucción.

**A7.** La falta de una oportuna coordinación entre Ministerio de Defensa y los programas de ciencia y tecnología de las fuerzas dejan como resultado desarrollos ambiguos y repetitivos.

**A8.** Carencia de una industria tecnificada que haga posible la transformación de la materia prima en básica para una eficiente utilización de los materiales y compuestos en la aeronáutica.

**A9.** MinCiencias no posee un capital definido para la realización de convocatorias que generen una competitividad en el desarrollo de investigaciones y tecnologías para el sector defensa del país.

**A10.** Las altas inversiones generadas por empresas desconocedoras de la gestión tecnológica y estratégica provocan un trabajo de forma reactiva frente a inversiones a corto plazo y retornos de mediano y largo plazo.

---

## Determinación de las herramientas prospectivas que permitan el desarrollo de la hoja de ruta para construir los escenarios más probables

Las herramientas prospectivas, se basan primeramente en iniciar y simular el conjunto del proceso de la prospectiva estratégica.

- Proponer las buenas preguntas e identificar las variables clave.
- Analizar el juego de actores, lo cual, pone en evidencia los conflictos, construye escenarios coherentes y completos, identificando las influencias que ponen en juego una situación.
- Explorar las evoluciones posibles de un proyecto.
- Señalar el campo de los posibles escenarios y reducir la incertidumbre.
- Establecer el diagnóstico completo de una investigación frente a su entorno.
- Identificar y evaluar las elecciones y opciones estratégicas.

La hoja de ruta es una herramienta eficaz para la planificación y coordinación de tecnología, que puede llevar a contender en un entorno competitivo. El beneficio principal de una hoja de ruta es que proporciona



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

información para tomar mejores decisiones de inversión, mediante la identificación de los puntos críticos y de formas de aprovechar las oportunidades.

La construcción de escenarios hace visible la elección de las opciones estratégicas y aseguran la perdurabilidad del desarrollo, convirtiéndose en la visión del futuro, la cual logra conocer cambios que se esperan que se produzcan en su entorno. La incertidumbre sobre el futuro puede apreciarse a través del número de escenarios que se reparten el campo de lo probable; no son una realidad futura, sino un medio de representarla, con el objetivo de esclarecer los futuros posibles y deseables. Los escenarios no tienen credibilidad y utilidad si no respetan las cinco condiciones de rigor: pertinencia, coherencia, verosimilitud, importancia y transparencia. Con las variables clave que determinarán el futuro del estudio prospectivo y teniendo en cuenta la caja de herramientas de la prospectiva de Godet (2000) además de la asesoría de la docente Sandra Bedoya Manrique quien tiene experiencia en el campo de la prospectiva, se determinaron las siguientes herramientas y el orden en el cual se utilizarán cada una de ellas para determinar:

Factores de cambio: toda la información recolectada que determina el ¿Cómo se comporta hoy el sujeto de estudio?, ¿Cuáles son las variables clave? y ¿Cómo se relacionan entre ellas?

## Matriz DOFA

VARIABLES ESTRATÉGICAS: son aquellas variables que resaltan en la lluvia de ideas adquiridas de la DOFA y generan un impacto importante en el desempeño del sector y una probabilidad razonable de ocurrencia.

Se podrían utilizar 2 herramientas en este proceso, a saber: el Abanico de Reigner o el Análisis de Software MICMAC, para el caso de este proyecto esta última fue la herramienta que se utilizó en el estudio prospectivo de las variables clave encontradas en el primer objetivo y claramente discriminadas.

## Herramienta MICMAC

Juegos de Actores: es el encargado de analizar eficazmente la influencia entre cada uno de los actores y los juegos de poder dentro de los cuales se encuentran tres objetivos principales:

- Identificar las motivaciones de cada actor y los medios de acción de estos.
  - Detectar gérmenes de cambio y formular preguntas.
  - Comprender la estrategia de los actores, es decir, las alianzas y conflictos.
- 
- Este método posee siete fases de vital importancia dentro de las cuales se mencionan:
    - Construir un cuadro de actores (identidad de cada actor).
    - Identificar retos estratégicos y objetivos asociados.
    - Situar a cada actor en sus prioridades con los objetivos.
    - Jerarquizar a cada actor con sus prioridades.
    - Evaluar la fuerza con la que se produce cada relación entre actores.
    - Integrar las relaciones de fuerza en análisis de convergencias y divergencias entre los actores.
    - Formular las recomendaciones estratégicas y preguntas claves del futuro.

La herramienta posee un carácter operacional que permite la diversidad de juegos y actores.

### **Listado de variables.**

A continuación, se listan las variables clave que resultaron de la matriz DOFA.

- Capacidades de la industria Aeronáutica en el Valle del Cauca (CAV).
- Servicios de investigación desarrollo e innovación (SID).
- Limitaciones presupuestales de la FAC (LPF).
- La FAC reglamenta internamente políticas de off-set (RPO).
- Escuela de instrucción primaria en la aviación militar colombiana (EIP).
- Industria de alta tecnología en Cali (IAC).
- Presupuesto de proyectos en la FAC (PPF).
- Niveles educativos de los oficiales FAC (NEO).
- Titularidad en la propiedad intelectual (TPI).
- Capacitación en gestión tecnológica (CGT).
- Cooperación entre la FAC y entes educativos (CFE).
- Proyectos de I+D+i de las F.F.M.M (PDF).
- Apalancamiento económico aeronáutico (AEA).
- Experiencia de la FAC en el sector aeroespacial (ESA).
- Integración de capacidades (IDC).
- Competitividad nacional e internacional (CNI).

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

- Transferencia de conocimientos y tecnología (TCT).
- Mejoramiento continuo de tecnologías (MCT).
- Aviación civil y militar (ICM).
- Ministerio de Defensa (MDD).
- Piezas de alta rotación y baja criticidad (PRC).

### Descripción de las variables.

En la Tabla 13 se describen las 21 variables claves extraídas de la Matriz DOFA.

Tabla 13 Descripción de variables de Sistema de Ciencia y Tecnología de la FAC. Fuente: Elaboración propia.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Capacidades de la industria Aeroespacial en el Valle del Cauca (CAV).	Es la facultad que tiene la industria de satisfacer una necesidad en un sector en específico.
Servicios de investigación desarrollo e innovación (SID).	La industria aeronáutica se apoya en servicios de consultoría, ingeniería, e investigación para generar desarrollo.
Limitaciones presupuestales de la FAC (LPF) La FAC reglamentariamente políticas de off-set (RPO).	Es la asignación de los recursos disponibles de la FAC. Las políticas off-set promueven créditos de cooperación industrial con empresas cuya misión es la defensa nacional a los países que lo requieran.
Escuela de instrucción primaria en la rriación militar colombiana (EIF). Industria de alta tecnología en Cali (IAC).	La FAC es la única institución en Colombia con una escuela de aviación militar. La industria de alta tecnología en el sector defensa del Valle del Cauca aún es incipiente.
Presupuesto de proyectos en la FAC (PPF).	Algunos recursos que le puedan dar oportunidades a los proyectos de la FAC.
Niveles educativos en los oficiales FAC (NEO).	La adquisición de nuevos conocimientos permitiría al individuo desempeñarse de una forma óptima en sus actividades.
Timididad en la propiedad intelectual (TFI).	Es el derecho que se adquiere sobre un invento y es legalizado a través de una patente la cual desde su dicho invento puede ser utilizado por terceros y en que condiciones.
Capacitación en gestión tecnológica (CGT).	Permite la toma de decisiones y planes de acción frente al uso, políticas, acciones y distribución de la tecnología.
Cooperación entre la FAC y estas educadoras (CFE).	La investigación, desarrollo e innovación es un tema del cual la gran mayoría de las instituciones educadoras concede una buena parte de sus recursos.
Proyectos de I+D+i de las P.F.M.M (PDF).	La investigación y desarrollo aeronáutico se mantienen en constante cambio lo que obliga a generar proyectos que no permitan el estancamiento de una organización.
Apalancamiento económico aeronáutico (AEA).	El sector Aeronáutico es uno de los más costosos, con esto se requiere una gran cantidad de capital para mantenerlo en constante desarrollo y mejoramiento.
Experiencia de la FAC en el sector aeroespacial (ESA).	Le permite a la FAC ser más competente, mejorando sus procesos y demostrando ser líder en el sector aeronáutico en Colombia.
Integración de capacidades (IDC).	Capacidad que tienen las instituciones para fortalecer mediante el trabajo cooperativo.
Competitividad nacional e internacional (CNI).	Es el poder adquisitivo que tenga cada nación según sus capacidades comerciales y de adquisición.
Transferencia de conocimientos y tecnología (TCT).	Es el acto mediante el cual el conocimiento es compartido con el fin de no interrumpir las investigaciones en curso y el desarrollo generado hasta ese momento.
Mejoramiento continuo de tecnologías (MCT).	Es la esencia de la investigación, el desarrollo y la innovación.
Aviación civil y militar (ICM).	Incremento del mercado aeronáutico civil y militar.
Ministerio de Defensa (MDD).	Es el apoyo organizativo que brinda el gobierno nacional a los proyectos enfocados a la tecnología.
Piezas de alta rotación y baja criticidad (PRC).	Son los elementos que más requieren las aeronaves de instrucción primaria de la FAC y que se buscan producir con las capacidades del Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca.

## **Ambivalencia entre actores.**

La ambivalencia entre actores busca conocer cuáles de estos pueden convertirse en antagonistas de los objetivos que ya se propusieron y es evidente que los actores pueden tomar diferentes posiciones según sea el comportamiento del sistema con el fin de asegurar su supervivencia en él. Así mismo está determinado por la fuerza y poder que tenga sobre el sistema, lo que permite que algunos de ellos sean lo suficientemente independientes para alterar los demás actores y el sistema mismo.

El Histograma de Ambivalencia de Actores fluctúa entre los siguientes rangos:

- 0: son actores que nunca cambian su posición frente a las hipótesis planteadas, todo es positivo o todo es negativo.
- 1: son actores que pueden cambiar su posición frente a las hipótesis planteadas, mitad posición positiva y mitad posición negativa.

El histograma define como ambivalentes a los siguientes actores por su indefinida posición al someterse a variaciones o cambios inesperados de los demás actores que los rodean o simplemente por conveniencia: Fuerza Aérea Colombiana, Universidades, Ministerio de Defensa Nacional, Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Grupo Social y Empresarial de la Defensa.

Estos actores mantienen una relación de dependencia entre ellos lo suficientemente fuerte para que, si alguno de ellos cambia, los demás igualmente se acoplen a las nuevas condiciones que el sistema determine.

## **Relación de los actores con los objetivos.**

Es evidente que la mayoría de los actores están cerca de los objetivos que pueden alterar su comportamiento dentro del sistema. Un gran porcentaje están distribuidos en el cuadrante, encaminados al cumplimiento también a la trayectoria del sistema, pero su influencia no es lo suficientemente relevante. En contraposición se encuentran los actores y objetivos ubicados en el cuadrante número dos donde son causa y efecto de la evolución del sistema.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

El desconocimiento de esta relación puede generar choques en los procesos que cada actor esté realizando con un objetivo en particular, impidiendo que cumpla la meta propuesta.

## **Relación entre los actores de tercer grado.**

Las convergencias que se producen a raíz del juego de actores son importantes en el estudio prospectivo, pues arrojan información vital para conocer los puntos de unión de las trazas generadas por los actores y consigo permite conocer con cuáles actores son posibles estas uniones.

La más fuerte se genera entre el Ministerio de Defensa y la Fuerza Aérea Colombiana como un equipo de trabajo vital para el desarrollo del sector aeroespacial colombiano, el primero como garante de los recursos que genera el Estado para el impulso de este tipo de proyectos, el segundo como la institución líder en el sector aeroespacial, garante de la seguridad nacional y la responsable de la soberanía del espacio aéreo colombiano.

MinCiencias es un punto en común entre la Fuerza Aérea Colombiana y el Ministerio de Defensa Nacional, y no es para menos, pues este ministerio lidera proyectos en el desarrollo de nuevas tecnologías en Colombia, necesarias para la FAC, partiendo del hecho que la tecnología militar está en constante cambio y mejoramiento, con el fin de mantenerse como una de las Fuerzas Aéreas más fuertes de América Latina, claramente apoyada por el Ministerio de Defensa Nacional, garante de brindar los recursos que sean necesarios para el cumplimiento de la misión de las organizaciones estatales y además apoyar políticamente las decisiones que sean necesarias llevar a cabo para el desarrollo de estas.

## **Herramienta: SMIC.**

Teoría de estrategias: en este punto de la investigación se evidencia la esencia de la prospectiva a través de la cual se comprueba que el futuro se construye por medio de estrategias. Desde el punto de vista prospectivo se limita a “solo lo que puede ocurrir” pero al agregar la estrategia se convierte en el “¿yo qué puedo hacer?” y de esta combinación se desprende el “¿qué voy a hacer yo?” “¿cómo lo voy a hacer?”.

Se desarrolla a través de la Teoría IGO que plantea acciones para lograr el escenario Apuesta, son evaluados bajo el criterio de importancia y gobernabilidad, teniendo en cuenta los siguientes dos criterios:

- Pertinencia de las acciones.
- Constatar el dominio que las acciones tienen sobre ellas.

Se realiza un plano cartesiano dividido en “retos”, “acciones inmediatas”, “acciones innecesarias” y “acciones menos importantes”, cada una de estas se ubica en un cuadrante. A partir de lo anterior se concluye que en el trabajo de investigación se le debe dar prioridad a las acciones inmediatas que arroje el estudio y que se evidencian en el primer cuadrante.

El Sistema de Matrices de Impactos Cruzados, también llamada “SMIC”, busca generar un listado de posibles soluciones o “hipótesis” seleccionadas a partir de la herramienta anterior en el “juego de actores”. Posterior a esto, se realiza según Ibarra (2014) la debida evaluación de los expertos sobre cada una de las hipótesis planteadas por el investigador, el cual debe brindar un porcentaje entre 0 % y 100 % sobre la probabilidad que hay de que dicha hipótesis se cumpla, es decir se le da una probabilidad simple “X” de que esta hipótesis sea realizable en un futuro determinado.

Es preciso que cada experto evalúe cada una de las hipótesis planteadas con el fin de completar la matriz del programa e ir construyendo los futuros más probables. Terminada la evaluación individual de cada una de las hipótesis, se procede a hacer la calificación de las “probabilidades condicionales” (Ibarra, 2014, p.13) que como su nombre lo menciona, una hipótesis dependerá de la ejecución de la otra, haciendo que las probabilidades cambien considerablemente, así mismo, la probabilidad de que una hipótesis sea probable si alguna otra no se ejecuta. Con esta evaluación se podrán determinar dos escenarios:

- Apuesta: es el escenario deseado por el investigador en que todas las hipótesis planteadas se verán materializadas en un futuro, apuntando todos los objetivos del plan estratégico que conducirán la investigación a él.
- Tendencial: este es el escenario con una mayor probabilidad de ocurrencia y es precisamente el escenario que sucederá en el futuro, si las variables del sistema siguen su evolución como se observa hasta ahora, tal como lo menciona Ibarra (2014).

A continuación, se ilustra el esquema del análisis de la herramienta SMIC que expone el paso a paso del funcionamiento del software para la obtención de los escenarios Tendencial y Apuesta.

En la Tabla 14 Hipótesis de la Herramienta SMIC se describe cada una de las hipótesis propuestas por el grupo investigador con el fin de que los expertos evalúen qué tan probable es que dichas acciones planteadas sean ejecutadas o no, así mismo el cruce entre ellas que hacen posible distinguir los escenarios Tendencial y Apuesta.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Tabla 14 Hipótesis de la Herramienta SMIC. Fuente: Elaboración propia.

N o.	ETIQUETA LARGA	ETIQUETA CORTA	DESCRIPCIÓN
1	La Fuerza Aérea sustituye el 20 % de compras internacionales con productos nacionales al año 2030.	SUST	Las CIAC es la corporación encargada del 60 % de la fabricación de cualquier parte de las aeronaves de la FAC.
2	MinCiencias duplica los recursos destinados a los proyectos de I+D+i en la FAC antes del año 2020.	PROY	MinCiencias es consciente que los recursos que se destinaban a los proyectos de alta tecnología no eran suficientes para culminarlos y peor aún, ponerlos en marcha.
3	Los núcleos educativos de la FAC y las Universidades, en común acuerdo, aportan mediante un plan de fortalecimiento educativo el intercambio de conocimiento y experiencia investigativa en desarrollos de alta tecnología.	EDUC	La poca transferencia de conocimiento tecnológico internacional al sector defensa ha dificultado el desarrollo de nuevas tecnologías con capacidades regionales y nacionales.
4	Los proyectos de I+D+i se convierten en un proceso de apoyo dentro de la organización de la Fuerza Aérea y esta debe realizar los cambios necesarios para volverlo funcional a la cabeza del segundo comandante de la FAC.	I+D+i	Se ve la necesidad de que el segundo comando de la FAC sea responsable de dar vida a proyectos de investigación, desarrollo e innovación que le brinden nuevas alternativas en el desarrollo de altas tecnologías para la seguridad y defensa nacional.
5	La Industria Aeronáutica del Valle del Cauca cuenta con la capacidad de proveer a la FAC con las piezas de mayor rotación y menor criticidad en la instrucción primaria de vuelo.	CAPA	El sector Aeroespacial del Valle del Cauca, con la capacitación interna y externa, además de la asignación de recursos de entes públicos y privados logró independizar sus procesos de otros proveedores nacionales para fabricar piezas aeronáuticas que tienen un índice alto de falla.

Los datos que se presentan a partir de la investigación se obtuvieron de primera mano de un conjunto de expertos, quienes evaluaron las hipótesis anteriormente planteadas bajo un criterio de conocimiento y experiencia que le da una fortaleza teórica y sustentable que alimente el estudio prospectivo de tal manera que se encaucen las ideas y se enfoquen los resultados para el fin propuesto.

Los expertos fueron abordados por el grupo investigador a través de un cuestionario, el cual se realizó personalmente y los expertos con base en su experiencia profesional y personal determinaron las probabilidades bajo las cuales se sustenta el estudio prospectivo y de las cuales se obtienen las estrategias finales del proyecto, por eso se buscó un número reducido de expertos para evitar respuestas subjetivas entre una gran cantidad de opiniones, además conocen de temas de I+D+i dentro y fuera de la FAC, así como la operación y mantenimiento de las aeronaves.

## Probabilidades simples

Los resultados obtenidos en el cuadro Probabilidades Simples fueron obtenidos a través de una interacción personal con los expertos en el tema, los cuales dieron una probabilidad de ocurrencia entre el 0 % y el 100 %, se promediaron estos porcentajes por cada una de las hipótesis y el resultado de este como punto de partida, para conocer cuáles de los planteamientos serán los que posean una mayor probabilidad de que sucedan.

## Probabilidades condicionales positivas herramienta SMIC

Dentro de las probabilidades condicionales positivas la pregunta correcta para evaluar la interacción de estas hipótesis es:

¿Qué tan probable es que la H1 (Hipótesis 1) suceda **SI** la H2 (Hipótesis 2) sucede?

Así sucesivamente se debe hacer con cada una de las hipótesis y en la matriz deberá registrarse la probabilidad dada por cada experto.

## Probabilidades condicionales negativas herramienta SMIC

Las probabilidades condicionales negativas se diferencian únicamente de las positivas en su comportamiento, ya que se resume en preguntar: ¿Qué tan probable es que la H1 (Hipótesis 1) suceda si la H2 (Hipótesis 2) **NO** sucede?

Al igual que en las anteriores probabilidades condicionales positivas, el cruce de estas será evaluada por expertos arrojando las matrices anteriormente ilustradas. En concordancia, menciona Ibarra (2014) que todos los demás escenarios que se hayan creado a partir de las hipótesis y sean diferentes al tendencial o apuesta se conocen como alternos.



## Histograma de extremos

Del histograma de extremos se extrae la Tabla 15, que es un resumen en el cual están discriminados los dos tipos de escenarios que marcan la diferencia del estudio con sus respectivos porcentajes de probabilidad y de ocurrencia, adicionando los dos siguientes escenarios con más alta posibilidad de hacerse realidad, dejando claro que el porcentaje es bajo en comparación con los mencionados inicialmente, además afirma o niega en cada una de ellas, las hipótesis evaluadas por los expertos.

Tabla 15 Escenarios Tendencial/Apuesta. Fuente: Elaboración propia.

Variables					Probabilidad	Tipo de Escenario
Sustitución	Recursos	Educación	I+D+	Clúster		
No	No	No	No	No	23,7%	Tendencial
Si	Si	Si	Si	No	8,2%	Alternativo
Si	No	Si	Si	Si	8,0%	Alternativo
Si	Si	Si	Si	Si	13,9%	Apuesta

En el escenario Tendencial para que la Fuerza Aérea hubiera logrado la sustitución del 20 % de las compras internacionales con productos nacionales era necesario un músculo económico que impulsará a las pequeñas y medianas empresas a proyectar sus productos dentro de un entorno de alta calidad que permitiera a instituciones como la FAC entablar relaciones comerciales en las cuales las dos partes se lograran ver beneficiadas, de forma que la fabricación de las piezas de mayor rotación y menos criticidad en la instrucción primaria de vuelo, con el objetivo de tener una cadena logística más corta que le genere a la institución ahorros en los tiempos que las aeronaves deben estar en su periodo de mantenimiento o simplemente a la espera de los repuestos para continuar la misión institucional de formar a los futuros pilotos primarios de la FAC sin contratiempos.

Así mismo, la industria del Valle del Cauca se vería impulsada a mejorar sus capacidades aeronáuticas, pues no se vería reducida solamente al sector aeronáutico militar, sino que además podría inmiscuirse en la aviación civil, a nivel nacional e internacional considerando que Cali cuenta con un aeropuerto internacional y no se debe descartar la posibilidad de que alguna de estas aeronaves requiera el reemplazo del alguna parte y que el clúster aeronáutico logrará facilitar los repuestos necesarios.

El Ministerio de Hacienda quien asigna directamente los recursos al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación al igual que otros ministerios, se ha visto afectado con la disminución de recursos económicos los cuales se ponen a disposición de MinCiencias para generar

proyectos de I+D+i, con el fin de potenciar instituciones académicamente más competentes, que sean herramienta de producción intelectual nacional, para lograr en un futuro a mediano plazo y a largo plazo evitar capacitar con conocimientos extranjeros a los trabajadores locales por el contrario a lo que sucede actualmente sean estos los que impulsen y desarrollen adelantos tecnológicos de punta con sello nacional.

En la formación académica tanto de los alumnos, cadetes y oficiales de la FAC hay más de un ente educativo responsable de esta importante labor institucional, pues además de estar enmarcada en la misión y visión de la Fuerza, es una institución aeronáutica obligada a renovarse periódicamente.

La Escuela de Suboficiales, la Escuela Militar de Aviación y la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana son los pilares esenciales bajo los cuales se fundamenta la academia profesional del talento humano perteneciente a la institución. Estas escuelas pueden carecer, en ciertos procesos, de experiencia investigativa la cual muchas veces podría ser complementada al trabajar en conjunto con núcleos educativos a nivel nacional como las universidades de gran trayectoria histórica en el país las cuales brindan este vital apoyo para dar continuidad a los proyectos investigativos que se desarrollan.

Sin este tipo de planes de fortalecimiento educativo, tanto las Universidades como las Escuelas de formación de la Fuerza Aérea tendrán restricciones en los proyectos de investigación, desarrollo e innovación que se pretendan generar en pro de cualquiera de las dos instituciones, ya que ambas necesitarían del complemento de la otra, si es su prioridad ser líder y protagonista del desarrollo en el país.

La Fuerza Aérea realizó una nueva organización institucional dentro de la cual no se incluyó que los proyectos de I+D+i logran ser un proceso de apoyo dentro de esta, esto le habría generado un mejor espacio y campo de acción que le permitiera impactar más sobre los procesos de desarrollo institucional basados en producir proyectos encaminados al sector aeronáutico de alta tecnología que debería hacerse funcional bajo la responsabilidad del segundo comandante de la FAC, sin esta acción, nuevamente los proyectos de I+D+i se mantendrán en la “clandestinidad” y bajo la sombra de otros procesos, que sin decir que sean innecesarios son de menor rigurosidad que la misma supervivencia de la vanguardia tecnológica de una institución que debe ser líder en el sector aeroespacial colombiano.

El Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca, en la actualidad es incapaz de proveer a la FAC las piezas de mayor rotación y menor criticidad en la instrucción primaria de vuelo, sin embargo, esto no cierra la brecha para que las capacidades de estas industrias sigan en el desarrollo continuo que tienen actualmente con el fin de disponer de piezas con su respectivo certificado de aeronavegabilidad y alta calidad que exige la aviación mundial, es por esto que es necesario impulsar la inversión en las empresas nacionales y adicional a esto, contar con el personal idóneo y capacitado para cumplir los requerimientos que demande la institución.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## Herramienta IGO

Con base en una lluvia de ideas examina el escenario Tendencial y Apuesta para seleccionar las acciones pertinentes para cada uno de estos, a estas se les analiza desde el punto de vista institucional, la gobernabilidad que ejerce dentro del sistema que puede ser fuerte, media, débil y nula, con los valores 5, 3, 1 y 0 respectivamente (ver Tabla 16).

Tabla 16 Importancia y Gobernabilidad de las acciones propuestas del escenario tendencial. Fuente: Elaboración propia con base en Cortés, Delgado, Salazar (2016)

ACCIONES &	IMPORTANCIA &	GOBERNABILIDAD			
		F	M	D	N
Generar un plan con el fin de capacitar al personal que ejerce labores en I+D+i a nivel de maestría y doctorado.	10		3		
Los expertos académicos deberán formar parte de un equipo de trabajo en el desarrollo de un marco político y un plan estratégico en ciencia y tecnología.	20	5			
Colociencias dentro de su programa de seguridad y defensa deberá asignar por los menos 1500 millones para financiar proyectos de desarrollo.	10			1	
Realizar una hoja de ruta que identifique las tecnologías a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo.	15	5			
Generar relaciones internacionales en torno a la transferencia de tecnología y conocimiento a la industria aeronáutica colombiana.	5			1	
La Fuerza Aérea debe obtener titularidad en los derechos de propiedad intelectual en los desarrollos que se realicen en la institución.	10			1	
Vincular a las empresas regionales y los núcleos educativos a la formulación y desarrollo de proyectos de investigación.	5		3		
Facilitar los procesos de certificación aeronáutica para la aviación militar bajo las normativas de la aviación civil.	10			1	

## Plano IGO escenario Tendencial

Con la Tabla 17 del escenario tendencial se pueden identificar las acciones que poseen una alta gobernabilidad al igual que una importancia por encima de la media, es decir de alta gobernabilidad e importancia.

Tabla 17 Acciones con alta importancia y gobernabilidad del escenario Tendencial. Fuente: Elaboración propia.

No	ACCIÓN
1	Generar un plan para capacitar al personal que ejerce labores en I+D+i a nivel de maestría y doctorado.
2	Realizar una hoja de ruta que identifique las tecnologías a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo.
3	Los expertos académicos deberán formar parte de un equipo de trabajo en el desarrollo de un marco político y un plan estratégico en ciencia y tecnología.

Las acciones descritas son de gran importancia, es decir están por encima de la media en importancia, pero respecto a su gobernabilidad para la institución están por debajo de la media de gobernabilidad (ver Tabla 18).

Tabla 18 Acciones con alta importancia y baja gobernabilidad del escenario Tendencial. Fuente: Elaboración propia.

No	ACCIÓN
1	MinCiencias dentro de su programa de Seguridad y La Defensa deberá asignar por los menos \$1 500 millones para financiar proyectos de desarrollo.
2	La Fuerza Aérea debe obtener titularidad en los derechos de propiedad intelectual en los desarrollos que se realicen en la institución.
3	Homologar el proceso de certificación aeronáutica entre el sector civil y el sector militar.

## Plano IGO escenario Apuesta

Con la Tabla 19 del escenario Tendencial se puede identificar las acciones que poseen una alta gobernabilidad al igual que una importancia por encima de la media, es decir de alta gobernabilidad e importancia.

Tabla 19 Acciones con alta importancia y baja gobernabilidad del escenario Apuesta. Fuente: Elaboración propia

No	ACCIÓN
1	Incorporar Oficiales Profesionales para labores de I+D+i con formación en maestría y doctorado
2	Permitir que otras empresas nacionales o regionales prevean a la FAC las piezas de mayor rotación y menor criticidad en la instrucción primaria de vuelo
3	Producir piezas con certificados de aeronavegabilidad y alta calidad a través del Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca

Las siguientes son acciones de gran importancia, es decir que están por encima de la media en importancia, pero en cuanto a su gobernabilidad para la institución están por debajo de la media de gobernabilidad (ver Tabla 20).



decir, es económicamente insustentable y el talento humano no es el apropiado para este fin.

En cuanto a la política comercial internacional, es carente de lineamientos efectivos para que el sistema deje de ser dependiente. Las posibilidades de generar estos cambios son prometedoras, pero con un trabajo constante y efectivo, basados en las estrategias descritas anteriormente, procurando generar el apoyo que requieren los actores clave en este sistema.

De la lluvia de ideas se logran priorizar las siguientes estrategias para definir los objetivos planteados:

- Generar un plan para capacitar al personal que ejerce labores en I+D+i a nivel de maestría y doctorado.
- Realizar una hoja de ruta que identifique las tecnologías a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo.
- Los expertos académicos deberán formar parte de un equipo de trabajo en el desarrollo de un marco político y un plan estratégico en ciencia y tecnología.

Además de estas se plantean otras estrategias como respaldo, en caso de que las primeras no se puedan realizar:

- Incorporar Oficiales Profesionales para labores de I+D+i en niveles de maestría y doctorado.
- Permitir que otras empresas nacionales o regionales provean a la FAC las piezas de mayor rotación y menor criticidad en la instrucción primaria de vuelo.
- Producir piezas con certificados de aeronavegabilidad y alta calidad a través del Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca.

El estudio prospectivo realizado determina la realización de una hoja de ruta para el desarrollo de piezas aeronáuticas con fabricación local en la instrucción primaria de vuelo de la FAC.

## **Establecimiento de los objetivos a corto y mediano plazo de la hoja de ruta de componentes a desarrollar**

En la hoja de ruta se pueden evidenciar los componentes a desarrollar, el periodo que conllevará ese desarrollo, los objetivos a los que apunta ese desarrollo, los proyectos que requieren, las capacidades industriales y el talento humano con el que se cuenta para la efectiva realización de las piezas

de mayor rotación y menor criticidad en la instrucción primaria de vuelo de la FAC (Figura 65).

## Conclusiones

El sector aeroespacial y el resultado productivo de la industria aeronáutica es la construcción de un objeto con capacidad de elevarse del suelo, tal como las aeronaves, en este caso para uso de instrucción aérea militar. Este proceso exige desarrollo de materiales, estructura, agilidad y tecnología, con el mayor rendimiento en consumo y tiempo. El Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca, debe contemplarse como un proyecto de carácter estratégico, debido a que existen las condiciones estructurales para su desarrollo, cuya iniciativa debe ser liderada por la FAC.

La ciencia y tecnología, cumplen una función fundamental en el sector de seguridad y defensa del país, su desarrollo está muy ligado al desarrollo económico y social nacional, está proyectada como respuesta a la demanda de las necesidades propias de las instituciones militares en el cumplimiento de su misión; del mismo modo, por medio de ella, se puede llegar a obtener una independencia estratégica en la búsqueda del dominio de tecnologías que a diario se desarrollan en este campo, que son fuente de conocimiento para futuros proyectos.

El desarrollo y puesta en marcha de una hoja de ruta le permitirá a la FAC establecer la viabilidad de las tecnologías en temas de Seguridad y Defensa Nacional que pueda desarrollar en un futuro, impulsando el desarrollo de otros sectores tales como: comunicaciones, informática, ingeniería de materiales, ingeniería de diseño. De antemano, se podrán identificar las posibles amenazas y oportunidades durante todo el proceso y hacerlo realidad. De esta forma, se logra que la innovación tecnológica sea indispensable para el logro de altos niveles de competitividad.

El Sistema de Ciencia y Tecnología de la Fuerza Aérea Colombiana aún requiere ajustes normativos, estructurales al interior de la institución que faciliten el desarrollo del sistema y permitan su interacción con el medio exterior representado por empresas de diferentes entidades; asimismo, los desarrollos en la industria militar son utilizados en la aviación civil, lo que genera una sinergia entre los dos sectores.

Los beneficios de la hoja de ruta provienen de su mismo proceso, ya que exige una búsqueda exhaustiva de información, la consulta a expertos, conocer la estrategia de la Organización y la participación de personas que al interior de la Fuerza convierten este proceso en un ambiente de intercambio de opiniones y perspectivas sobre lo que se debe desarrollar. Las fuerzas vivas de la región deben estar presentes en el desarrollo de la industria. Para el desarrollo de este sector, se debe promover la creación de clúster de la industria aeronáutica, mediante acuerdos de cooperación

técnica y tecnológica con las industrias más desarrolladas del Valle, las cuales podrían actuar como proveedores de bienes y servicios. Para lograr una hoja de ruta de mayor exactitud se requiere de una iteración constante del proceso, hasta lograr un producto que pueda ser tenido en cuenta para la definición de las estrategias de la Fuerza Aérea Colombiana, por lo tanto, este se trata de una primera aproximación al desarrollo de tecnologías para los escuadrones de aviación primaria de la Escuela Militar de Aviación.

El factor más importante que permitirá alcanzar las estrategias para el cumplimiento de la defensa y seguridad nacional, la interoperabilidad en ambientes operacionales y la transferencia tecnológica será la asignación presupuestal que se debe destinar para la I+D+, esto llevará a que lo planteado o diseñado en la hoja de ruta de este proyecto de investigación, garantice el fortalecimiento de las capacidades operacionales de los escuadrones de aviación primaria de la Escuela Militar de Aviación y de esta manera contribuir eficazmente con el logro de los intereses nacionales y el desarrollo económico y social de la Nación.

En nuestro medio militar, existen grandes posibilidades de desarrollo para la industria aeronáutica, debido a la gran variedad de insumos, repuestos y servicios requeridos, pero la poca asociación de los pequeños fabricantes del clúster del Valle. Se deben explotar actividades con gran potencial como los insumos, partes y la fabricación de elementos como trenes de aterrizaje, asientos, reparaciones y mantenimiento de aeronaves.

## Referencias

Carro, N. (2010). Inteligencia para el Desarrollo de un Clúster: Modelo Metodológico con Enfoque Prospectivista y de Planeación Estratégica para Impulsar la Competitividad del Clúster Aeroespacial de Nuevo León (Tesis de maestría). Recuperado de: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/573014>

Cortés, H., Delgado, J. y Salazar, F. (2016). Elaboración de un análisis prospectivo para el diseño de una hoja de ruta al año 2030 en tecnologías a desarrollar para la aviación estratégica de la Fuerza Aérea Colombiana. (Tesis de especialización). Bogotá: Escuela Superior de Guerra. Recuperado de <https://repositorio.crai-fac.com/handle/20.500.12963/821>

COTECMAR. (2006). Plan estratégico 2007-2011. Recuperado de [http://files.holisticaudec.webnode.es/200000106-0df5b0ceff/PLAN ESTRATEGICO\\_2007-2011CONTECMAR.pdf](http://files.holisticaudec.webnode.es/200000106-0df5b0ceff/PLAN ESTRATEGICO_2007-2011CONTECMAR.pdf)

Godet, M. (2000). La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Problemas y métodos (4ta Edición). Librairie des Arts et Métiers, 33 Vol No. 5, 114. Recuperado de <http://es.lapropective.fr/dyn/espagnol/bo-lips-esp.pdf>

Ibarra, M. (2014). Aplicación y articulación de herramientas de planeación para organizaciones civiles e instituciones militares. Bogotá: Entre Libros Book Solutions.

Ministerio de Defensa Nacional. (2011). Visión compartida de futuro en Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá: Ministerio de Defensa Nacional.



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Phaal, R., Farrukh, C., y Probert, D. (2001). Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives. Recuperado de: <https://www.sopheon.com/wp-content/uploads/Article-TechnologyRoadmapping.pdf>

Phaal, R., Farrukh, C., y Probert, D. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change* 71(1). 5-26.

Phaal, R., y Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. *Technological Forecasting & Social Change* 76(2). 39–49. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/2559/fbb398a8208576a165dfe1e19d2bc7e68dcc.p>

## Capítulo 7

### Identificación del Clúster Aeronáutico Dosquebradas y Valle del Cauca

Teniente Coronel Claudia Patricia Martínez Sotelo,  
Teniente Coronel Juan Pablo Carrillo Restrepo,  
Teniente Coronel Lina María Pinzón Perilla,  
Teniente Coronel Nora Patricia Gutiérrez Rodríguez.

#### Resumen

El desarrollo y el crecimiento competidor en Colombia ha estado limitado por la ausencia de mecanismos de transferencia tecnológica y de conocimiento, al mismo tiempo, además de las debilidades que presentan los encadenamientos productivos, que, en conjunto con la innovación y emprendimiento, esquemas de financiamiento y calidad, en específico en la industria aeronáutica colombiana, son fuente para el beneficio de las oportunidades en todos los sentidos en el mercado nacional e internacional, debido al apogeo y desarrollo de este sector y de esta manera posibilita agendar por parte de los actores inmiscuidos en estos procesos una aceleración que permita ahondar en la formación de una producción eficiente y con altos estándares de calidad en el uso de recursos.

**Palabras clave:** Dos Quebradas, Valle del Cauca, Identificación Clúster aeronáutico, clúster aeronáutico.

#### Abstract

Development and competitive growth in Colombia has been limited by the absence of mechanisms for technology and knowledge transfer, at the same time, in addition to the weaknesses presented by the productive chains, which, together with innovation and entrepreneurship, financing schemes and quality, specifically in the Colombian aeronautical industry, are a source for the benefit of opportunities in all senses in the national and international market, due to the heyday and development of this sector and in this way

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

makes it possible to schedule by the involved actors in these processes an acceleration that allows to deepen in the formation of an efficient production and with high quality standards in the use of resources.

**Key words:** Dos Quebradas, Valle del Cauca, Aeronautical Cluster Identification, Aeronautical Cluster.

## Caracterización técnica clúster aeronáutico Dos quebradas

En la iniciativa Clúster Aeronáutico de Dos quebradas, ubicado en la zona de la región cafetera de Colombia, en el centro de los departamentos de Caldas, Quindío y la región del Norte del Valle, participan empresas del sector metal mecánico, de plásticos, de cauchos y de forja de las ciudades de Dos quebradas y Pereira en el departamento de Risaralda y Manizales en el departamento de Caldas. Si bien es cierto que la industria aeronáutica en Colombia no es reciente, el rol del país se ha centrado en la operación y en algunos talleres aeronáuticos de reparación (TAR) de aeronaves y componentes, en la parte de manufactura se ha mantenido una dependencia casi absoluta de importaciones.

En este orden de ideas, la región cafetera de Colombia tampoco ha desarrollado los recursos y capacidades para adquirir las competencias mínimas específicas para la industria aeronáutica; no obstante, la iniciativa clúster ha permitido desarrollar 44 prototipos de piezas aeronáuticas de las cuales cinco (5) piezas fueron certificadas por la Sección de Certificación Aeronáutica de la Defensa (SECAD) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) como PMA para la venta y la instalación en aeronaves de aviación de estado, mediante CCA No. 2017007.

En este sentido, las industrias integrantes del clúster aeronáutico vienen trabajando articuladamente con la Cámara de Comercio de Dos quebradas, en convenio con la FAC con el propósito de fabricar piezas aeronáuticas tipo 3, dentro del programa de sustitución de importaciones, por otra parte, en el desarrollo de componentes aeronáuticos de difícil consecución en el mercado de proveedores internacionales por obsolescencia a través de ingeniería inversa.

De las empresas integrantes ninguna está calificada dentro de las categorías que establece la cadena de valor de la industria aeroespacial, pero se resalta la competitividad en el sector aeronáutico de las industrias participantes en la iniciativa, evaluando factores clave como la innovación, la política macroeconómica del sector aéreo en el país y la infraestructura que afecta directamente la productividad; factores en últimas ligados directamente a la capacidad microeconómica, compuesta por tres

elementos: “la calidad del ambiente de negocios, el estado de desarrollo de los clúster, la sofisticación de las estrategias y operaciones de la firmas” (Andonova, García, & Ramírez, 2017, p.11).

Para la caracterización del clúster se identificaron los actores gubernamentales, industriales, académicos, autoridades y gremios. Por su parte, las agencias gubernamentales para el clúster aeronáutico están representadas por la Gobernación de Risaralda apoya desde la Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad de Risaralda, la Alcaldía de Pereira, desde la Subsecretaría de Planeación Socioeconómica, el Área Metropolitana desde la estrategia de competitividad metropolitana y la Alcaldía de Dos quebradas desde la Secretaría de Desarrollo Económico y Competitividad.

En cuanto al sector académico, las universidades y escuelas de formación técnica, tienen pocas competencias específicas en la industria aeroespacial; sin embargo, la Universidad Tecnológica de Pereira, tiene fortalezas en ingeniería mecánica, eléctrica, mecatrónica, sistemas, electrónica e industrial. En la formación técnica y tecnológica en el área de influencia del Clúster de Risaralda se encuentra el Centro de Innovación y Diseño del SENA, con grandes competencias en el sector metalmecánico y escuelas de formación técnicas de aviación, con entrenamiento en “técnico de línea de aviones” (TLA) y “técnico de línea de helicópteros” (TLH) como la Escuela de aviación del pacífico y la del INEC.

Los procesos de certificación aeronáutica son un paso fundamental dentro de la industria aeronáutica, actividad que recae en la FAC, que mediante Decreto 2937 del 5 de agosto de 2010, entidad que fue designado como autoridad aeronáutica de la aviación de Estado, definidas por el Código de Comercio (1971).

En el Clúster Aeronáutico de Dos quebradas participan medianas empresas tomando como factor el número de empleados vinculados con la compañía; tamaño completamente alineado al panorama nacional donde de acuerdo con el informe de dinámica empresarial en Colombia el 99.4% de las unidades productivas del país se pueden clasificar es este segmento industrial (Confecamaras, 2017).

Al estar estructurado el Clúster en su mayoría por compañías Mipyme, de acuerdo a lo establecido en la ley 590 de 2000 y la ley 905 de 2004, es importante implementar estrategias dentro de la iniciativa que permita el acceso de financiación de capital de trabajo o adquisición de activos productivos a través de mecanismos de apoyo del gobierno nacional, que están encaminados a impulsar este segmento empresarial a través de líneas de crédito preferente, con importantes ventajas en términos de tasas de interés, plazos de pago y garantías a través del Fondo Nacional de Garantías (FNG).

El papel de la academia es fundamental dentro de la triada Universidad-Empresa-Estado del clúster aeronáutico. Específicamente se señala que la región cafetera no cuenta con programas profesionales de formación con competencias específicas en la industria aeroespacial; sin embargo, la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad Nacional sede

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Manizales cuenta con programas en ingeniería mecánica, eléctrica, mecatrónica, sistemas, electrónica e industrial, que pueden contribuir al crecimiento de la industria aeronáutica en la región; sin embargo, a pesar de no existir dentro de los integrantes del clúster convenios formales con la academia si existen alianzas naturales como lo manifiesta Echeverri (2019) y la industria sabe de las capacidades sobre todo en el tema de laboratorios con que cuenta la región. Adicional, la academia no ha estado aislada al clúster aeronáutico y la participación de la Universidad Tecnológica de Pereira en las mesas de trabajo convocadas por la Cámara de Comercio de Dos quebradas ha sido permanente (Hurtado, 2019).

El enfoque del Clúster de Dos quebradas se está ejecutando desde la perspectiva de la cadena de valor, donde de acuerdo al estudio efectuado por la Asociación Colombiana de Productores Aeroespaciales (ACOPAER) para ser presentada al Departamento Nacional de Planeación “hay una creciente subcontratación global de la manufactura aeroespacial... las OEM delegan cada vez mayor responsabilidad a sus proveedores TIER 1 para que ellas puedan enfocarse en sus competencias básicas de diseño, integración y ensamblaje” (ACOPAER, 2017). De acuerdo también a dicho estudio se estima que la subcontratación global permite ahorrar a los OEM entre 20% y 30% de sus costos de producción.

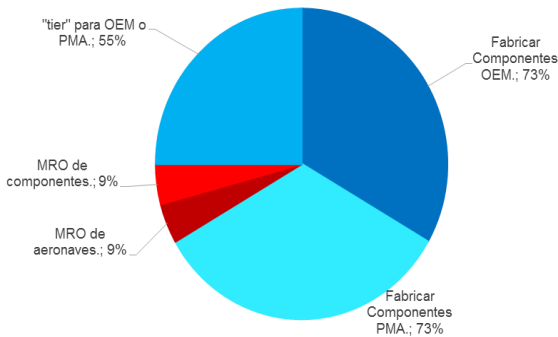


Ilustración 66 Visualización de la priorización de la cadena de valor.  
Fuente: Autor (2019).

La perspectiva de las industrias dentro de la iniciativa clúster como se ve en la figura 2, tiene un enfoque en manufactura de componentes OEM y PMA que está alineado a lo plasmado dentro del documento de caracterización del sub-sector de fabricación de piezas aeronáuticas del año 2014 elaborado por la Cámara de Comercio de Dosquebradas, que busca aprovechar la experiencia del sector industrial en la manufactura principalmente metalmecánica, de plásticos y cauchos para la industria del movimiento, intentado de esta manera encontrar oportunidades de negocio en nuevos mercados.

La identificación de las oportunidades en el entorno externo de la empresa son requeridas para la estructuración de la estrategia de la compañía, sino los recursos y las capacidades internas las cuales han generado ventaja competitiva del sector productivo de Dosquebradas, esto sumado que la manufactura de componentes aeronáuticos no tienen un mercado altamente volátil y si bien las tecnologías para atenderlas son cambiantes el mercado permite orientar una estrategia empresarial a través de creación de líneas de producción con ciclos de vida de mediano y largo plazo, las cuales soportan no solamente la fabricación de la aeronave sino su aeronavegabilidad continuada.

Aprovechando el potencial de capacidades con que cuenta la región cafetera, se observa la completa viabilidad de manufactura de componentes aeronáuticos por parte del Clúster de Dosquebradas utilizando la madurez empresarial de la región en la industria del movimiento y las capacidades en metalmecánica, plásticos y cauchos, es indispensable la inversión nacional o extranjera aprovechando los TLC, creando un tejido industrial que permita el nacimiento de una base de proveedores, mantenedores y fabricantes para crear una cadena de valor, que sea suficientemente significativo como para organizar un ecosistema de producción aeroespacial colombiano. (ACOPAER, 2017).

Otro factor, relevante dentro de la cadena de valor de la industria aeronáutica es la conformación de empresas proveedoras de servicios de mantenimiento MRO, subsector que puede enfocarse para el mantenimiento mayor de aeronaves o la reparación de componentes.

Por otra parte, dentro del presupuesto destinado a la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) 73% de los integrantes del clúster manifiesta invertir entre el 5 y 10% de sus utilidades en estos procesos, cifra muy por encima del 0.8% del PIB que invierte Colombia en materia de innovación y de los cuales solo el 35% proviene del sector privado (Revista Dinero, 2018); caso destacable dentro de la región es el de la compañía Solocauchos reconocida por Minciencias entre las 91 empresas altamente innovadoras del país, teniendo en cuenta que de manera sistemática ejecuta actividades conducentes a la innovación, mediante procesos claramente establecidos, recursos asignados y resultados verificables.

Si bien es cierto, la investigación enfocada a procesos aeronáuticos en la región cafetera no es evidenciable dentro de los grupos de investigación reconocidos por Minciencias, la región si desarrolla procesos de I+D+i y hay un total de 1234 grupos en los departamentos de Antioquia, Risaralda, Caldas y Quindío, como se observa en la figura 51, de los cuales el 38% están clasificados en categoría A1 y A con generación de nuevo conocimiento de alta calidad y con desarrollo de “Productos Top”; sin embargo, solo el 4% corresponde a desarrollo tecnológico e innovación. (Minciencias, 2020).

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

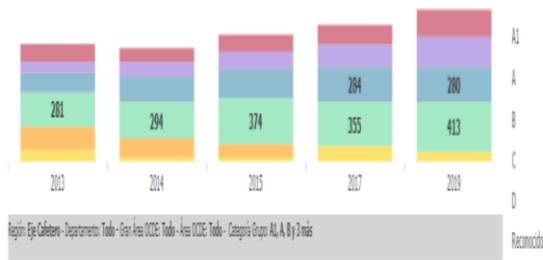


Ilustración 67 Distribución grupos de investigación por categorías Fuente: Minciencias (2020). Serie históricas grupos de investigación reconocidos por categoría. La ciencia en cifras.

Dentro de la organización del Clúster no hay centros o instituciones de investigación, como tampoco centros de desarrollo tecnológico; de los 66 reconocidos por Minciencias a nivel nacional, (Minciencias, 2019), en el área de influencia solo hay tres: el Centro de Bioinformática y Biología Computacional (CBBC), Centro de Estudios Regionales, Cafeteros y Empresariales (CRECE), ubicados en Manizales y en Pereira está el Instituto Interdisciplinario de las Ciencias Universidad del Quindío; sin embargo, ninguno efectúa investigación en el sector aeronáutico o industrial y sus estudios se enfocan en biotecnología, bioinformática, ciencias básicas, sociales, y agropecuarias.

A pesar de que el país no cuenta con centros de desarrollo tecnológico en el sector aeronáutico si existe el reconocimiento por Minciencias para entidades cuyo enfoque de investigación es la industria de temas tan diversos como el calzado, comidas, logística y transporte; por lo cual, la estructuración de un centro con un enfoque aeronáutico debe convertirse en prioridad para el clúster de Dosquebradas con el fin de fortalecer la investigación aplicada de este sector. Adicional, es recomendable efectuar fortalecimiento de los lazos entre el clúster con las Fuerzas Militares y en particular con la FAC donde ya existe un camino recorrido y cuenta con: el Centro de desarrollo tecnológico aeroespacial para la defensa (CETAD), Centro de investigación en tecnologías aeroespaciales (CITAE) y el Centro Tecnológico de Innovación Aeronáutica (CETIA); siendo el CETAD uno de los actores de apalancamiento inicial en la iniciativa y con el cual se comenzaron los procesos de fabricación de prototipos de quincallería, piezas aeronáuticas y herramientas con presupuesto de convocatorias efectuadas por Minciencias y que tuvieron como resultado 44 prototipos de piezas aeronáuticas de las cuales cinco fueron certificadas por la SECAD como PMA para la venta y la instalación en aeronaves de aviación de estado CCA No. 2017007. (Hurtado, 2019).

Otro factor de análisis es la formación a nivel superior en el sector aeronáutico, donde la región cafetera no tiene oferta de programas académicos; sin embargo, en el país existe pregrado de ingeniería aeronáutica en tres instituciones: Universidad Pontificia Bolivariana de

Medellín, Universidad San Buenaventura y la Fundación Universitaria Los Libertadores en Bogotá; situación que en su momento fue aprovechada por las industrias integrantes del Clúster para el desarrollo de prototipos y los procesos de certificación de componentes. Sin embargo, la falta de solicitudes de compra y la complejidad de los procesos de certificación no hacen rentable el sostenimiento de una línea de ingeniería y producción en el sector aeronáutico. (Tabares, 2019)

En cuanto a nivel de posgrados la Universidad Pontificia Bolivariana ofrece especialización en ingeniería aeronáutica mientras que la Universidad Militar Nueva Granada imparte la Especialización en Administración Aeronáutica y Aeroespacial en su campus.

Teniendo en cuenta la capacidad de gestión de este clúster, se señala inicialmente que la criticidad de la industria aeroespacial y como lo establece el RAC 21 se debe:

Adoptar normas que establezcan, de manera general, los requisitos técnicos para la certificación de las aeronaves o partes de ellas, definidas como componentes de aeronaves, que sean fabricados en la República de Colombia o para la homologación de tales certificados cuando sean fabricadas y/o certificadas en otros Estados, como condición para su operación y/o uso en la aviación civil. (UAEAC, 2019).

Siendo la (UAEAC,2013), en su condición de autoridad aeronáutica y de conformidad con lo establecido en el artículo 1790 del Código de Comercio, el responsable de establecer los requisitos técnicos que deban reunir las aeronaves, dictar las normas sobre operación y mantenimiento de las mismas y certificar su aeronavegabilidad y condiciones de operación; expidió la Resolución 03310 del 7 diciembre de 2015 donde se aprueba el RAC 21 y se armoniza con los Reglamentos Aeronáuticos Latinoamericanos (LAR) – 21 y el Anexo 8 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, regulando así los requisitos para la certificación de las aeronaves o parte de ellas que sean fabricados en la República de Colombia.

Para el caso de la aviación de Estado, la SECAD fue designada como entidad reguladora de la Aeronavegabilidad Inicial (Diseño y Producción); encargada de normalizar, calificar y certificar productos aeronáuticos, así como reconocer organizaciones empresariales en diseño, producción, laboratorios, entre otros, que soporten el desarrollo y el fomento de la industria aeronáutica nacional, pública y privada.

Adicional a los procesos de certificación por parte de la autoridad aeronáutica que son mandatarios, la implementación de un programa de calidad integral es fundamental para el sector aeroespacial, con el cual se desarrollan los estándares propios de la industria.

Por lo anterior, es importante que las empresas cuenten con certificación en un sistema de gestión de calidad (QMS) AS91XX sumados a esto es de vital importancia que en el país se desarrollen organismos de acreditación



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

nacional ante el International Aerospace Quality Group (IAQG). En este sentido, las industrias integrantes del Clúster reconocen la relevancia de las certificaciones aeronáuticas, pero ninguna cuenta con ellas.

El análisis de capacidad de gestión se subdivide en este estudio en dos líneas, la primera los productos o servicios aeronáuticos certificados los cuales son de carácter regulatorio y la segunda, el QMS aeroespacial como complemento a los requisitos para el producto, que buscan asegurar la satisfacción del cliente y como mínimo cumplir los requisitos exigidos por la autoridad aeronáutica competente con productos seguros y confiables.

Los actores industriales de la iniciativa clúster en su totalidad coinciden que es necesario que el Gobierno Nacional genere incentivos de tipo tributario o de financiación que contribuyan al aumento de la capacidad productiva y el desarrollo de mecanismos de fomento para la industria aeronáutica; con respecto a este tema el Ministerio de Comercio a través de programas como Innpulsa Colombia, Colombia productiva y Procolombia ha dirigido recursos hacia Dos quebradas para fortalecer algunos programas de innovación, productividad y capacidad de exportación. Por otro lado, de acuerdo con información de la UAEAC dentro del Programa de transformación productiva se patrocinaron por convocatoria seis compañías en el país para implementar la norma AS9100 (Colmenares, 2019), pero ninguna de las empresas de la iniciativa Clúster de Dos quebradas participó en dicho proceso.

## Productos aeronáuticos certificados

### *Productos certificados UAEAC*

La certificación de productos en Colombia, es un proceso relativamente nuevo que se encuentra en fortalecimiento, la iniciativa Clúster Aeronáutico de Dos quebradas no tiene ningún componente certificado por parte de UAEAC para uso en aviación civil y esta materia en el contexto nacional solo se han efectuado dos procesos uno de componentes y otro de aeronaves ultralivianas (very light aeroplanes).

### *Productos certificados Fuerza Aérea Colombiana*

La certificación de los productos aeronáuticos para la FAC se desarrolla el SECAD se compone de dos procesos: certificación y aeronavegabilidad continuada. El proceso de certificación comprende las fases de: desarrollo, modificación y fabricación de productos aeronáuticos, donde se realiza el diseño, diseño conceptual y preliminar detallado, diseño crítico, desarrollo de prototipos, la realización de ensayos, la expedición del certificado de aeronavegabilidad experimental y la recolección de evidencias que soporten la conformidad y aeronavegabilidad del producto.

En el caso de la iniciativa Clúster de Dos quebradas, dos productos aeronáuticos han estado inmersos en el proceso de certificación por parte de la Autoridad Aeronáutica de la Aviación de Estado: kit de perillas de control equipo GARMIN 1000 y la unión de la rueda dentada para las ametralladoras GAU-19, desarrolladas por la compañías Normarh-CINDETEM y Herragro respectivamente, la primera de ellas finalizada satisfactoriamente y la segunda suspendida a requerimiento de la FAC, por cambio en la configuración del sistema de armas.

En cuanto a la capacidad de asociación, la iniciativa clúster aeronáutico de Dos quebradas tiene su marco de origen en el fortalecimiento de las capacidades estratégicas y de gestión planteadas en la comisión regional de competitividad de Risaralda, donde en septiembre de 2014 se desarrolló el documento de caracterización del sub-sector de fabricación de piezas aeronáuticas, buscando aprovechar las capacidades de los sectores de metalmecánica, plásticos y cauchos especialmente del subsector automotor, motopartes y autopartes, adquiriendo las competencias y requisitos para ingresar a la industria aeroespacial.

La iniciativa comenzó con 12 empresas que pertenecen en su gran mayoría al sector metalmecánico, que desarrollaron prototipos de piezas para el sector aeroespacial, en el marco del convenio entre la Cámara de Comercio de Dos quebradas y la FAC, aplicando ingeniería inversa con el objetivo de manufacturar componentes aeronáuticos para la aviación de Estado, buscando incursionar en un mercado creciente a nivel mundial y en el cual Colombia está en un proceso aún incipiente. A través de la iniciativa Clúster, las industrias de la región del eje cafetero buscan mitigar los altos costos de producción de la industria aeroespacial asociados a sus etapas de diseño, fabricación, pruebas y certificación; lo que requiere la estructuración de proyectos de manufactura muy ajustado a las necesidades de los clientes, con procesos de adquisición de materias primas casi en su totalidad importadas, mano de obra altamente calificada, procesos de reconocimiento y certificación complejos, lo que hace que muchas de las empresas que inicialmente conformaron la iniciativa decidieron desvincularse.

En Colombia existe un déficit de proveedores de servicios y productos para la industria aeroespacial, pues el país tiene casi total dependencia del mercado exterior, con dificultades en la oferta internacional sobre todo en la Aviación de Estado. En el caso particular de Dos quebradas, los aportes más significativos de la industria para el desarrollo del subsector aeronáutico en el eje cafetero son hasta el momento la manufactura de prototipos que aprovecharon el conocimiento en producción en metalmecánica, cauchos y plásticos, así como las capacidades instaladas actuales de la industria.

La iniciativa clúster si bien es cierto ha permitido visualizar un mercado en el subsector aeronáutico, la consolidación de un proceso de producción real con ventas dinámicas que haga rentable el proceso no se ha materializado.

## **Caracterización técnica clúster aeronáutico del Valle del Cauca**

El clúster aeronáutico del Valle del Cauca está ubicado en la zona Sur Occidente de Colombia. La industria aeronáutica en el Valle del Cauca al igual que en el resto de país se encuentra en un proceso de estructuración; sin embargo en el departamento existen cuatro empresas dedicadas a la fabricación de ultralivianos: Aerodynos de Colombia, Aeroandina, Ibis Aircraft y Caldas Aeronáutica, las cuales han incursionado en el mercado Europeo y venden alrededor de 50 aeronaves de manera conjunta al año, lo que les permitió visualizar una actividad comercial importante para el país que condujo a la creación de la Asociación de Aeroindustriales de Colombia, con el ánimo de direccionar recursos de manera conjunta que facilitaría el desarrollo un producto de talla mundial, convirtiéndose en el primer antecedente del clúster.

La iniciativa del Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca se remonta al año 2006 cuando la FAC, en cabeza de la Escuela Militar de Aviación (EMAVI), la Cámara de Comercio de Cali y la Gobernación del Valle visualizaron un potencial mercado aeronáutico, aprovechando la tecnología y la potencialidad de la industria de la región, sumado a la experiencia de las compañías de fabricación de ultralivianos que tiene su sede en el Valle desde los años 70.

Dentro de la estructuración de la iniciativa clúster adicional de los integrantes de la Asociación de Aeroindustriales de Colombia, se identificaron otras compañías cuya trayectoria y amplio conocimiento industrial potencialmente serían capaces de contribuir en la manufactura de componentes aeronáuticos dentro de la cadena de valor, como Fanalca, Inorca, MAC; OI Mecanizados del Cauca, Industria Metálicas Castillo, Centro Red Tecnológico Metalmecánico del Pacífico y el Centro de Excelencia de Nuevos Materiales de la Universidad del Valle.

El Valle del Cauca como clúster aeroespacial al igual que todo el país, no ha desarrollado los recursos y capacidades para adquirir las competencias mínimas específicas para la industria aeronáutica en cuanto a manufactura de componentes aeronáuticos clase II y III. No obstante, la fabricación de ultralivianos si le han generado experiencia a las cuatro industrias que los manufacturan de manera individual, puede ser una punta de lanza para un proceso de incubación del sector a través de un clúster.

Las actividades que se realizan de manera generalizada por parte de la industria aeronáutica colombiana se centran en el sostenimiento de la aeronavegabilidad continuada de las aeronaves que operan en el país a través de empresas MRO, algunas de las cuales tienen alcance en sus habilitaciones técnicas a cubrir aeronaves que son reguladas por la Federal Aviation Administration (FAA) como es el caso de la Corporación de Industria

Aeronáutica Colombiana (CIAC). Sin embargo, el Valle del Cauca es la excepción en el país teniendo en cuenta que en la región se encuentran en manufactura varias versiones de ultralivianos, por compañías que los exportan principalmente a Europa para aviación recreativa.

Para la caracterización de la iniciativa clúster se ejecutó la identificación de los actores involucrados dentro de triada –Universidad, Empresa y Estado–, que pueden llegar o que están interactuando en forma articulada en el proyecto y que potencialmente pueden promover diferentes tipos de innovación para el sector aeronáutico, como se describen en la figura 3.

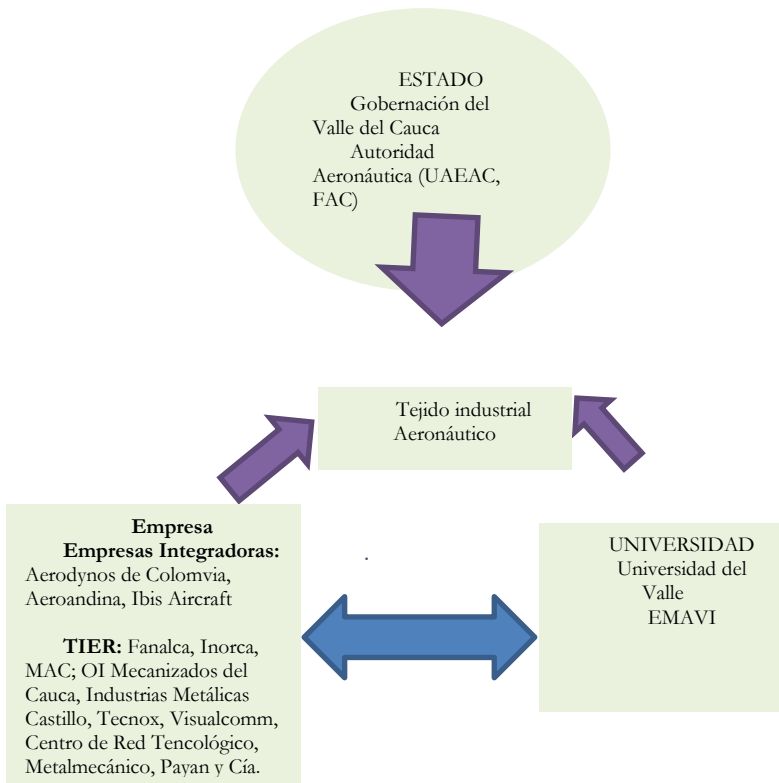


Ilustración 68 Actores clúster Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia (2019).

El Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca tiene involucrado dentro de los actores industriales un par de compañías que han logrado tener procesos exitosos dentro de la manufactura de ultralivianos desarrollando rol de

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

empresas OEM, con exportaciones de aeronaves a mercados tan apetecidos como el europeo; adicional a estas compañías hay otras que potencialmente pueden convertirse en contratistas y subcontratistas tipo TIER 1,2 y 3 dentro de la cadena de valor, con capacidades en el sector metalmecánico, de plásticos, estructuras y de baterías ubicadas en las ciudad de Cali y sus inmediaciones, como Jamundí, Buga y Jumbo.

Los actores industriales del Clúster, en especial las empresas integradoras OEM no muestran un impacto dentro de los indicadores de la actividad regional del Departamento; sin embargo, el Valle del Cauca para el 2018 evidenció un crecimiento sostenido por encima del consolidado nacional (Cámara de Comercio de Cali, 2019); siendo uno de los sectores impulsores la industria manufacturera de la cual hacen parte los posibles TIER de la iniciativa, con compañías importantes dentro de su sector industrial en el país y especialmente en el Suroccidente, dedicados a la producción metalmecánica con mecanizados de Control Numérico Computarizado (CNC), estructuras metálicas, baterías y autopartistas.

El proceso de definir una línea base dentro del sector aeroespacial se desarrolló como punto de partida a través de un autodiagnóstico de capacidades a través de encuesta, definiéndose cinco variables por consiguiente en términos generales permiten a los actores industriales establecer parámetros básicos dentro de la cadena de valor de la industria aeroespacial, estas son: infraestructura, herramientas y equipos, personal entrenado, documentación/Información técnica, materiales y repuestos trazables.

Para la infraestructura técnica se pretendió visualizar las condiciones de ejecución de actividades de manufactura o mantenimiento, verificando preliminarmente si cuentan con un entorno físico óptimo, áreas de trabajo y almacenamiento adecuadas. En la parte de herramientas y equipos los requisitos del sector especial son bastante estrictos, a pesar de que en su mayoría son los mismos usados para el desarrollo de trabajos industriales, se requiere que estos cumplan con requisitos estrictos de calidad en cuanto a su estado, calibración, protección contra desajustes y almacenamiento que garanticen su correcto funcionamiento.

El recurso humano es una de las variables más complejas, teniendo en cuenta que si bien es cierto el desarrollo de tareas son similares a las de otros sectores a través de prácticas estándar, las competencias para cumplir un rol deben ser avaladas a través de una autoridad de aeronavegabilidad competente, que garantice el correcto entrenamiento, formación, habilidades y experiencia para la ejecución de la tarea. Por último, la documentación técnica y material trazable incluye información de manufactura o mantenimiento que permita el desarrollo de las actividades dentro del sector aeronáutico y la idoneidad del material usado.

En cuanto a la cadena de abastecimientos, el suministro de materiales para cumplir roles dentro de la cadena de valor de la industria ya sea como empresa de manufactura, proveedor o mantenedor requiere que al material empleado se le pueda seguir la historia relacionada con el origen,

procesamiento, distribución y localización del producto, para esto la industria aeroespacial requiere efectuar las adquisiciones con compañías preferentemente certificadas con un Sistema de Calidad tipo AS9120 revisión B "Sistemas de Gestión de Calidad: requisitos para los distribuidores de aviación, espacio y defensa", el cual está destinado exclusivamente a organizaciones que adquieren piezas, materiales y conjuntos para comercializarlos en la industria aeroespacial sin modificaciones, certificación, que las compañías actualmente en Colombia no poseen.

Las empresas vinculadas a la iniciativa del Valle del Cauca en un 50%, manifiestan no estar dentro de los estándares de la industria a nivel regional; los procesos de las empresas integradoras son similares. En cuanto al proceso de manufactura, las actividades se desarrollan a través de las mismas prácticas, primero se hace el calcado que finalmente permite la obtención de moldes y matrices, posteriormente se realiza el proceso de corte, doblado y moldeado que en Colombia se desarrolla de manera manual en la fabricación de ALS; luego se efectúa el ensamble usando matrices fijas o JIG's con remaches o soldadura obteniendo finalmente la célula de la aeronave, a la que finalmente se le ensamblan todos los sistemas complementarios adquiridos a los TIER.

Como se describió el proceso de fabricación de la célula de la aeronave es un trabajo manual, con uso de equipos de baja tecnología como lo expresa la compañía Ibis Aircraft es indispensable hacer transferencia tecnológica hacia equipos de mayor precisión y eficiencia como de control numérico computarizado. (Sanchez, 2018).

Específicamente, el sector aeroespacial de Valle del Cauca tiene desarrolladas competencias mínimas requeridas por la industria aeronáutica en la fabricación de ALS, sumado a los recursos y capacidades del subsector manufactura metalmecánica, estructuras y baterías. En este sentido, como lo demuestra la figura 4, los actores industriales de la región tienen interés en vincularse a la cadena de valor del sector aeronáutico la producción de componentes, muy separado del interés de conformar Talleres Aeronáuticos Reparadores (TAR) donde pocas tienen intenciones de incursionar.

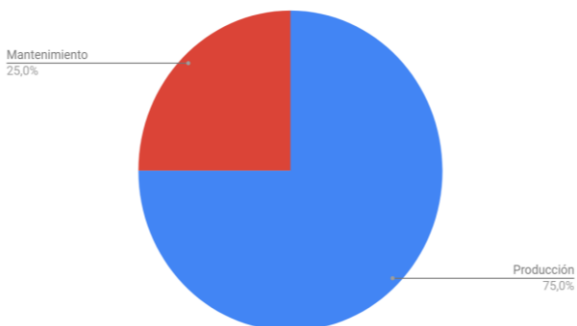


Ilustración 69 Actividad de vinculación Sector aeronáutico. Fuente: Autor (2019).

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

La estructuración del clúster del Valle del Cauca se desarrolla a partir de la perspectiva de cadena de valor, con empresas de desarrollo, ensamble e integración, sumado a fabricación de las células (estructura), sin embargo no se evidencian compañías tipo Tier, por lo cual un fortalecimiento de la competitividad de esta industria en la región se traduce en el “aumento de la productividad de las empresas al utilizar los recursos; por ende, las empresas se conciben como el motor de la mejora de la calidad de vida en una sociedad” (Andonova, García, & Ramírez, 2017, p. 10).

La perspectiva de las industrias dentro de la iniciativa clúster tiene un enfoque en manufactura y una muy baja proyección hacia los talleres de reparación aeronáutica, teniendo en cuenta que las compañías son productoras de bienes y no de servicios.

Como lo plantea Morante (2016) en la plataforma estratégica del clúster aeroespacial en el Valle del Cauca se determinaron como principales líneas de clientes las Fuerzas Armadas de Colombia que poseen una gran flota que requiere mantenimiento y actualización constante y por otro lado, las aerolíneas comerciales, que ven a Colombia como la entrada a Suramérica, lo que crea la necesidad de tener un flujo cada vez mayor de aeronaves y por consiguiente todos los productos y servicios.

En este sentido es importante articular las funciones de la FAC como autoridad de aviación de Estado y por ende entidad competente para emitir el Certificado de Tipo de la Defensa (CTD) o el Certificado de Tipo Suplementario de la Defensa (CTSD) con el cual se reconoce que un producto aeronáutico Clase I ha sido diseñado o modificado, así como ensayado según las normas y procedimientos aprobados, determinando así el cumplimiento de todas las condiciones de aeronavegabilidad y operación establecidas para tal producto y por ende su uso, en las aeronaves de Estado; al igual de avalar para los productos aeronáuticos clase II y III manufacturados según una Orden Técnica Estándar (TSO) o Aprobación de Fabricación de Partes (PMA). (Fuerza Aérea Colombiana, 2016, págs. 400-404)

En el Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), las empresas integradoras centran su producción principal en el diseño, fabricación y comercialización de ALS, que son empleadas en actividades deportivas, recreativas, aerografía y agrícolas, y los desarrollos de ingeniería básicamente comprenden modificaciones del diseño original de ultralivianos, que la industria de la región ha adaptado para generar modelos propios de la compañía, como el Vento 2G7 o el GS 501 “Urraco stol”.

En el estudio desarrollado por expertos consultados en un 57,1% conoce la existencia de grupos de investigación dentro del país, como el CITAE y el Grupo de Desarrollo de Tecnología Aeronáutica DELTA (EMAVI-UNIVALLE), la investigación enfocada a procesos aeronáuticos en la región Pacífica-Valle del Cauca no es claramente evidenciable dentro de los grupos de investigación reconocidos por Minciencias.

En cuanto a la medición de innovación dentro de las empresas en estudio, no es evidenciable la metodología aplicada; por lo cual es importante que se desarrolle un procedimiento que permita hacerlo, teniendo como factor de análisis el desarrollo tecnológico como un recurso que requiere “no solo en el capital físico, sino también en las habilidades humanas y en las instituciones y estructuras sociales” (Chamonica & Gomez, 2017); viendo la tecnología como el conjunto de capacidades dinámicas utilizadas para absorber, adaptar y avanzar los conocimientos y habilidades productivas existentes (Jasso, 2004). De acuerdo con lo planteado por Chamonica y Gómez (2017) en el artículo “Desarrollo tecnológico del sector aeronáutico en México, Canadá y EE.UU. a partir de la I+D e IED, 2005-2015” se debe buscar la incidencia de las variables independientes (inversión) sobre la variable dependiente (patentes) lo que representa el desarrollo tecnológico, a fin de conocer tal incidencia en la industria y el impacto en el desarrollo.

De las industrias identificadas como OEM, dentro de la iniciativa ninguna cuenta con laboratorios dentro de sus organizaciones; viéndose los industriales dentro de la perspectiva clúster en una articulación de la triada Universidad - Empresa – Estado, existe conciencia del acceso potencial a las capacidades de investigación y desarrollo de los laboratorios de las instituciones de educación superior, principalmente la Universidad del Valle y de la EMAVI con el CITAE.

Como último factor de análisis, la formación a nivel superior en el sector aeronáutico, el Valle del Cauca está a la vanguardia y pese a no tener un pregrado de ingeniería aeronáutica tiene el único programa del país a nivel maestría en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Aeroespacial en la Universidad del Valle.

Con relación a la capacidad de gestión de este clúster, el análisis de capacidad de gestión se subdividió en dos líneas, la primera los productos o servicios aeronáuticos certificados los cuales son de carácter regulatorio por parte de la autoridad aeronáutica (UAEAC o FAC) y la otra los sistemas de gestión de calidad aeroespacial como complemento a los requisitos para el producto que buscan asegurar la satisfacción del cliente y como mínimo cumplir los requisitos exigidos por la autoridad aeronáutica competente con productos seguros y confiables, certificación obtenida a través de un organismo de acreditación reconocido por el International Aerospace Quality Group (IAQG).

Los procesos de acreditación con la norma AS90XX en Colombia son relativamente recientes y los costos asociados a la conformación de los grupos de calidad, consultoría y certificación, sumados al sostenimiento de la certificación pueden oscilar entre 150 y 180 millones de pesos, que es una inversión considerable tanto para los OEM de fabricación de ALS como para las industrias que desean incursionar en nuevas líneas de producción como TIER de la industria aeroespacial que en su mayoría son pequeñas y medianas empresas, sumado al poco financiamiento del sector y la falta de estímulos por parte del Estado para crear un tejido industrial aeronáutico a través de instituciones y políticas.



## Productos aeronáuticos certificados

Dada la criticidad de la operación aérea, para mitigar los riesgos asociados a los diseños y manufactura y garantizar mínimos de seguridad en la operación de las aeronaves, los productos aeronáuticos deberán cumplir con ciertos requerimientos que justamente cubren ese grado de incertidumbre. Cuando se certifica una aeronave, todos sus componentes deberán haber pasado por un proceso de certificación, es decir, en definitiva, una aeronave es un conjunto de elementos que han cumplido con el proceso.

El proceso de certificación suele ser largo y complejo, en donde existe una interacción permanente entre fabricantes y autoridades, para obtener un Certificado Tipo (CT) que aplica para componentes Clase I (aeronaves, motores y hélices), donde el productor deberá contar con las instalaciones y condiciones que aseguren la aeronavegabilidad del producto, exceptuándose de este certificado las aeronaves experimentales, ALS y los vehículos aéreos ultralivianos (VAU).

En la iniciativa clúster aeroespacial del Valle del Cauca, ninguna de las compañías tienen productos certificados por las autoridades aeronáuticas nacionales, teniendo en cuenta que las empresas de manufactura OEM tienen su nicho de mercado en ALS y VAU, los cuales no requieren CT, dentro de estas compañías la empresa Aeroandina presentan una producción nada despreciable con ventas que superan 440 unidades en sus varios modelos de la versiones MXP de los cuales el 80% han sido para exportación principalmente para los mercados europeo y norteamericano (Aeroandina, 2019), una proporción similar tiene la Compañía Aerodynos de Colombia con su modelo JA177.

Los actores industriales de la iniciativa clúster en su totalidad coinciden que es necesario que el Gobierno Nacional genere incentivos de tipo tributario o de financiación que contribuyan al aumento de la producción en el sector y el desarrollo de mecanismos de fomento para la industria aeronáutica, con el fin de ocupar al máximo la capacidad instalada actual de región donde el 75% de las industrias encuestadas manifiestan no usar más del 50% actualmente.

Por otra parte, en cuanto a la capacidad de asociación, el Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca se remonta al año 2006 cuando la Fuerza Aérea Colombiana, la Cámara de Comercio de Cali y la Gobernación del Valle visualizaron un potencial mercado aeronáutico y se planteó la iniciativa de crear un tejido industrial alrededor de las compañías de fabricación de ALS que tiene su sede en el Valle del Cauca desde los años 70, tomando como punto de partida para la organización de la iniciativa la Asociación de Aeroindustriales de Colombia y otras compañías que con su trayectoria y amplio conocimiento industrial potencialmente serían capaces de contribuir en la manufactura componentes aeronáuticos dentro de la cadena de valor.

La iniciativa desde su origen ha tenido diversos actores industriales, de los cuales cuatro son compañías de manufactura de aeronaves tipo ALS y aproximadamente una decena dedicada a otros sectores como: las baterías, los mecanizados y estructuras metálicas.

No obstante, varios factores no han permitido un desarrollo del clúster en la región y han generado que en el sector productivo pierda interés en la participación en el programa. Entre los factores más críticos están: falta de capital de trabajo, carencia de liderazgo en la iniciativa, limitación de recursos humanos calificados que puedan llevar a cabo los proyectos, falta de metodología para el desarrollo del proyecto, ausencia de articulación con otras iniciativas y carencia de certificaciones aeronáuticas tanto en sistemas de gestión de calidad como de producto (Morante & Plernández, 2016).

La identificación de los actores que aún tienen interés en la iniciativa, se convirtió en el principal reto en el desarrollo del presente documento, actualmente existe una falta de confianza entre los diferentes empresarios y el proyecto más que ser una concentración sectorial y/o geográfica de empresas que se desempeñan en las mismas actividades o en actividades estrechamente relacionadas, es una iniciativa para crear una asociación o asociación aeronáutica en el Valle del Cauca.

A pesar de los esfuerzos desarrollados, la evolución de la iniciativa ha sido prácticamente nula. Aparte de organización de índole administrativo, la ejecución de un trabajo cooperativo con interacción que permita generar ventajas para las empresas no es evidenciable, los actores industriales que inicialmente se vincularon al proyecto del clúster y aún no perciben un impacto favorable con respecto a la iniciativa.

Ninguna de las compañías encuestadas y/o entrevistadas manifiesta haber participado en programas gubernamentales para incentivar el sector como los desarrollados por: Innpulsa Colombia, Programa de Transformación Productiva o Colombia productiva; por el contrario como lo expresa Ríos (2018), el subsector no tiene una política estructurada para fomentar el desarrollo de la aviación civil en el país, quitar las restricciones a las escuelas y la población en general para acceder a aeronaves y fomentar con recursos de innovación y desarrollo tecnológico a las empresas para desarrollar nuevos productos.

En Colombia existe como se ha mencionado un déficit de proveedores de servicios y productos para la industria aeroespacial, pues el país tiene casi total dependencia del mercado exterior para suplir sus necesidades, con dificultades en la oferta internacional sobre todo en la aviación de Estado que en algunos casos por los años de operación de los equipos y en otros por ser material de guerra se hace complejo la consecución de elementos.

En lo particular en la Aviación de Estado se ha generado el deseo de desarrollo a través de procesos de ingeniería de tejido industrial, que ha motivado el surgimiento de iniciativas clúster en el país; en el caso particular del Valle del Cauca los aportes más significativos de la industria para el desarrollo del subsector aeronáutico se enfocan hacia el diseño y producción de ALS, con compañías con más de 40 años de experiencia en este segmento en algunos casos y que han logrado introducir sus productos a mercados

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

altamente competitivos como el Europeo y el Norte Americano, aportando a la iniciativa conocimiento para el desarrollo y producción de productos aeronáuticos propios.

## Conclusión

Es necesario establecer los lineamientos que sean la base para orientar la construcción de una política pública, para que mediante la acción del Gobierno Nacional permita incentivar el desarrollo de la industria aeronáutica enfocada al aumento de la productividad de los clústeres aeronáuticos a través de la especialización y complementariedad, proyectando en su inserción en la economía global.

En el planteamiento de posibles alternativas orientadas a incentivar la industria aeronáutica colombiana, debe considerarse las siguientes:

- Incrementar la contribución de la industria aeroespacial al desarrollo económico del país desde el sector de la industria del movimiento maximizando el interés público por aumentar la cohesión social y la presencia del estado.
- Contar con una aviación segura, que cumpla con los estándares internacionales de aeronavegabilidad tanto en la fabricación de partes como en servicios de mantenimiento.
- Impulsar una industria aeroespacial colombiana competitiva a nivel mundial.
- Enfocar a la aviación a ser una industria con desarrollo sostenible, ampliando los programas de sustitución de importaciones en la protección de la industria nacional e incentivos para los empresarios pertenecientes a clúster aeronáuticos.
- Integrar a los diferentes sectores que intervienen y lograr su participación potencializando sus capacidades, en la academia, el sector privado y el sector público.

Lo anterior, tomando en cuenta que uno de los objetivos más relevantes es el de contar con una aviación segura y esto requiere que tanto la Aeronáutica Civil Colombiana, como la Fuerza Aérea en su rol de Autoridad Aeronáutica de Estado, establezcan la normatividad, otorgamiento de licencias y certificaciones, auditorías, supervisión y capacitación para los empresarios colombianos que deseen iniciar una participación en los clústeres aeronáuticos.

En cuanto a desarrollarse como una industria sostenible, es necesario fomentar programas de capacitación y productividad, ampliar los

portafolios de productos y servicios aeronáuticos, analizando la viabilidad de ofrecer servicios de reparación de componentes.

Para incursionar en el mercado internacional, podría considerarse desde el Ministerio de Comercio Exterior, Relaciones Internacionales o el Departamento Nacional de Planeación la creación de mesas de trabajo cuyo objetivo sea la negociación con las casas fabricantes de aeronaves para la producción de partes aeronáuticas.

Es importante resaltar que el Gobierno Nacional debe integrar las diferentes aviaciones (regional y nacional, internacional, de carga, militar y de Estado), facilitar el establecimiento de convenios que permitan un mayor comercio, turismo y desarrollo de la industria aeroespacial nacional y buscar alternativas tendientes a reducir las brechas existentes con industrias de otros países, eliminando los obstáculos y comenzando por brindar soluciones a la escasez de laboratorios certificados con las capacidades requeridas para el desarrollo de pruebas que son requeridas para la aprobación de los prototipos desarrollados.

## Referencias

ACOPAER. (2017). Plan estratégico de la industria colombiana aeroespacial. Bogotá.

Aeroandina. (12 de 12 de 2019). [www.aeroandina.com](http://www.aeroandina.com). Obtenido de <http://www.aeroandina.com>

Andonova, V., García, J., & Ramirez, J. (2017). El ambiente de negocios en Colombia: una interpretación empresarial". Bogotá: Universidad de los Andes. Recuperado de <https://administracion.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/archivos-drupal/archivos/2021/06/04/evento-el-ambiente-negocios-colombia.pdf>

Chamonica, D., & Gomez, M. (2017). Desarrollo tecnológico del sector aeronautico en Mexico, Canada Y EE. UU a partir de la I+D e IED, 2005-2015. Revista CIMEXUS Vol. XII, No.1, 7. Recuperado de <https://cimexus.umich.mx/index.php/cim1/article/view/237/194>

Confecamaras. (2017). Informe de dinámica empresarial en Colombia. Bogotá: Confecamaras.

Echeverri, M. (22 de 05 de 2019). Entrevista estructurada caracterización del Cluster aeronautico Dosquebradas. (J. Carrillo, & L. Pinzon, Entrevistadores) Recuperado de <https://repositorio.craifac.com/bitstream/handle/20.500.12963/392/110896.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fuerza Aérea Colombiana. (2016). Manual de Mantenimiento Aeronáutico. Bogotá: 2016.

Hurtado, C. (22 de 05 de 2019). Entrevista estructurada caracterización Clúster aeronáutico Dosquebradas. (J. Carrillo, & L. Pinzon, Entrevistadores)

Minciencias. (4 de 3 de 2020). Minciencias. Obtenido de <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/estadisticas-generales>

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Morante, D., & Plernández, J. (2016). Caracterización del clúster aeroespacial en el Valle del Cauca aplicando el método cualitativo que permita identificar las estrategias de gestión competitivas. CIENCIA Y PODER AÉREO, Vol. 12, 60-70. Recuperado de

<https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/download/561/730?inline=1>

Revista Dinero. (2018). Los países que mas invierten en investigación e innovación. Revista Dinero.

Rios, C. (11 de 12 de 2018). Entrevista estructurada caracterización clúster aeroespacial Valle del Cauca. (C. Martínez, Entrevistador)

Sanchez, M. (18 de 12 de 2018). Entrevista estructurada caracterización clúster aeroespacial Valle del Cauca. (C. Martínez, Entrevistador)

Sanchez, M. (18 de 12 de 2018). Entrevista estructurada clúster aeronáutico. (C. Martínez, Entrevistador)

Tabares, J. (23 de 04 de 2019). Entrevista estructurada caracterización Cluster aeronáutico Dosquebradas. (J. Carrillo, & L. Pinzon, Entrevistadores)

UAEAC. (2013). RAC 26 - Aeronaves categoría liviana (ALS). Bogotá: UAEAC.

UAEAC. (2019). Reglamento Aeronáutico Colombiana. En UAEAC, RAC-21 (págs. 12-19). Bogotá: UAEAC

## Capítulo 8

# Efectos de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Orinoco (OLLJ) sobre las Operaciones Aéreas

Giovanni Jiménez-Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dirección Ciencia, Tecnología e Innovación, Fuerza Aérea Colombiana

## Resumen

Los máximos en la velocidad del viento horizontal a niveles bajos de la atmósfera, denominados corrientes en chorro de bajo nivel (LLJ), tienen importantes impactos en una amplia gama de campos, incluida la aviación. Las LLJs se encuentran entre los fenómenos atmosféricos que pueden causar cizalladura del viento en la atmósfera baja; es decir, un cambio localizado en la velocidad del viento, en su dirección, o en ambos, a bajas altitudes. La presencia de cizalladura de viento es relevante durante el aterrizaje y el despegue de las aeronaves, porque en estas fases de vuelo su velocidad y altura están cerca de valores críticos, por lo que cualquier aumento o reducción causada por la cizalladura del viento genera una nueva trayectoria de vuelo. La corriente en chorro de bajo nivel del Orinoco (OLLJ), que representa un riesgo para las operaciones aéreas en por lo menos trece aeródromos en la región de los Llanos, es caracterizada a través de una reducción dinámica de escala, con mayor resolución horizontal, vertical, y temporal que la obtenida en investigaciones previas. El estudio está basado en una simulación de 5 meses (noviembre 2013-marzo 2014) realizada con el modelo de investigación meteorológica y pronóstico WRF-ARW, y con condiciones iniciales y de frontera provenientes de los análisis del sistema de pronóstico global GFS Análisis. La reducción dinámica de escala demuestra ser un método eficaz para resolver de una mejor manera

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

las características horizontales y verticales de la OLLJ, mejorando la descripción de su evolución diurna y estacional (verano austral), la identificación y localización de los núcleos de velocidad máxima del viento, así como las áreas de mayor impacto para las operaciones aéreas a causa de la cizalladura del viento. La OLLJ es un tubo de corriente sobre Colombia y Venezuela con velocidades de viento mayores a 8 m/s, que tiene cuatro núcleos característicos que varían en altura debido a la influencia de la topografía circundante. En enero, el OLLJ presenta su máxima velocidad media mensual del viento (13 m/s) y mayor extensión espacial (2100 km × 400 km). La máxima velocidad media del viento (14 m/s) en el ciclo diurno ocurre temprano en la mañana, mientras que la velocidad mínima (9 m/s) ocurre en la tarde. Tener una mejor caracterización y comprensión de la OLLJ, así como del impacto de esta a las operaciones aéreas regionales, proporciona información más precisa a pronosticadores, controladores y pilotos para tomar decisiones que podrían salvar vidas.

**Palabras clave:** Orinoco, corriente en chorro de bajo nivel, cizalladura del viento, Llanos, aviación, reducción dinámica.

## Abstract

Horizontal low-level wind speed maxima, referred to as low-level jets (LLJs), have important impacts on a wide range of fields, including aviation. The significance to aviation lies in the effects that wind shear created by LLJs have on aircraft performance, and hence is of particular importance to aircraft landing and taking off. LLJs are among the atmospheric phenomena that can cause low-level wind shear; i.e., a localized change in wind speed, direction, or both at low altitudes. The presence of wind shear is relevant to aircraft landings and take-offs, because in these phases of flight the aircraft airspeed and height are near critical values, so any lift increase or reduction caused by wind shear produces a new resultant flight path vector. The Orinoco low-level jet (OLLJ), which poses a risk to aerial operations at least at 13 aerodromes within the Llanos region, is characterized using finer horizontal, vertical, and temporal resolution than possible in previous studies via dynamical downscaling. The investigation relies on a 5-month-long simulation (November 2013-March 2014) performed with the Weather Research and Forecasting model, with initial and boundary conditions provided by the Global Forecast System analysis. Dynamical downscaling is demonstrated to be an effective method to better resolve the horizontal and vertical characteristics of the OLLJ, not only improving the description of

its diurnal and seasonal evolution (austral summer), the identification and location of low-level jet streaks inside the stream tube, but also the areas of higher impact to aviation due to low-level wind shear. The OLLJ is found to be a single stream tube over Colombia and Venezuela with wind speeds greater than 8 m/s, and four distinctive cores varying in height under the influence of sloping terrain. The OLLJ exhibits its maximum wind intensity (13 m/s) and largest spatial extent (2,100 km × 400 km) in January. In the diurnal cycle, the maximum mean wind speed (14 m/s) occurs early in the morning, whereas the minimum wind speed (9 m/s) occurs in the afternoon. Having a better characterization and understanding of the OLLJ, as well as about its impact on regional aviation, provides more accurate information to operational forecasters, air traffic controllers, and pilots for making decisions that could save lives.

**Keywords:** Orinoco, low-level jet, wind shear, Llanos, aviation, dynamical downscaling

## **Efectos de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Orinoco (OLLJ) sobre las Operaciones Aéreas**

El territorio colombiano, en un poco más de 2.000.000 km<sup>2</sup> (continental y marítimo), reúne el mar Caribe, el Océano Pacífico, los bosques tropicales del Amazonas y del Chocó, las sabanas de los llanos orientales, y tres ramas de la Cordillera de los Andes. Debido a la diversidad geográfica que representan los valles, mesetas, montañas y cuencas hidrológicas que allí se forman, el entendimiento del comportamiento meteorológico a nivel de mesoescala es muy importante, no solo para el clima regional, sino también para determinar los efectos que este tiene sobre otras áreas productivas del país.

Como pronosticador del estado del tiempo para la Fuerza Aérea Colombiana, uno de los fenómenos mesoescalares que atrajo la atención del autor durante los análisis diarios a las condiciones atmosféricas del país, fue un notorio máximo en el viento de bajo nivel sobre las llanuras de la cuenca del río Orinoco durante el verano austral. Al máximo en el viento de capas bajas, que consecuentemente produce un máximo relativo en el perfil vertical del viento horizontal dentro de la capa límite, la capa residual, o en la baja tropósfera (por debajo de los 700 hPa), se le conoce como corriente en chorro de bajo nivel (Markowski & Richardson, 2010). Este es el concepto más general del término; sin embargo, las diferencias regionales en velocidad máxima, altitud, extensión espacial, cizalladura vertical y horizontal, y en los mecanismos físicos de formación han hecho impracticable una definición formal universalmente aceptada (H. Liu et al., 2014).



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Las investigaciones acerca de las corrientes en chorro de bajo nivel, o low-level jets (LLJs), llevan algo más de 50 años (Blackadar, 1957; Gimeno et al., 2016; Stensrud, 1996), y a pesar de lo numerosas que han sido, por ejemplo, sobre la LLJ de las Grandes Llanuras de los Estados Unidos de América (p. ej., Bonner, 1963, 1968; Bonner & Paegle, 1970; Du & Rotunno, 2014; Holton, 1967; Krishnamurthy et al., 2015; Parish, 2016, 2017; Shapiro et al., 2016; Song et al., 2005; Squitieri, 2014; Tang et al., 2017; Weaver & Nigam, 2008; Wexler, 1961; Whiteman et al., 1997; Wu & Raman, 1993) y sobre LLJs en otras partes del mundo también (p. ej., Algarra et al., 2019; Amador, 2008; Balmez & Ștefan, 2014; G. T.-J. Chen & Hsu, 1997; R. Chen & Tomassini, 2015; Cook & Vizy, 2010; Do Nascimento et al., 2016; Doyle & Warner, 1993; Du et al., 2015, 2014, 2015; Du & Chen, 2018, 2019; Findlater, 1969; Gallego et al., 2019; Giannakopoulou & Toumi, 2012; Hart, 1977; He et al., 2016; Hidalgo et al., 2015; Jones, 2019; Juliano et al., 2017; Li et al., 2018; M. Liu et al., 2000; Maldonado et al., 2016, 2017; Marengo et al., 2004; Miao et al., 2018; Montini et al., 2019; Muñoz et al., 2008; Nicholson, 2016; Oliveira et al., 2018; Patricola & Chang, 2017; G Poveda & Mesa, 1999; Germán Poveda et al., 2014; Germán Poveda & Mesa, 2000; Prabha et al., 2011; Rojas, 2008; Rueda & Poveda, 2006; Shu et al., 2018; Silva et al., 2009; Soares et al., 2014; Vera et al., 2006; Virji, 1981; Wang et al., 2008; Wei et al., 2013; Whyte et al., 2008; Zhao et al., 2003), sólo unos pocos autores (Douglas et al., 2005; Jiménez-Sánchez et al., 2019; Jiménez-Sánchez et al., 2020; Labar et al., 2005; Rife et al., 2010; C. Rueda, 2015; Torrealba & Amador, 2010; Vernekar et al., 2003) han investigado acerca de la corriente en chorro de bajo nivel que ocurre sobre la cuenca del río Orinoco, conocida como la Orinoco Low-level Jet (OLLJ). Este fenómeno atmosférico, a pesar de no hacer parte fundamental del acervo intelectual de la aviación nacional, sí es conocido por las tripulaciones aéreas debido a sus efectos sobre el rendimiento de las aeronaves, y su presencia ha sido reportada al control de tránsito aéreo militar, por las tripulaciones de la FAC volando sobre esta región del país.

De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional, las LLJs hacen parte de los fenómenos atmosféricos que pueden causar cizalladura del viento en los niveles bajos de la atmósfera (International Civil Aviation Organization, 2005); es decir, cambios en la dirección, velocidad del viento, o en ambos, a bajas alturas. Como se observa en la Figura 1, cualquier cambio en la velocidad del viento horizontal produce un nuevo vector resultante en la trayectoria de vuelo, lo que resulta particularmente peligroso para el despegue o aterrizaje de las aeronaves (p. ej., Golding, 2005; Guan & Yong, 2002; Kulesa, 2002) ya que, en estas fases del vuelo, la velocidad y la altura del avión se encuentran cerca de sus valores más críticos. Durante la fase de aproximación, por ejemplo, este cambio repentino en la trayectoria desestabiliza el avión (Bonner, 1968), causando su potencial aterrizaje antes del umbral de la pista (Blackadar, 1957), o reduciendo el tiempo que tiene el piloto para ajustar la senda de planeo. Se estima que, en los casos de fuerte cizalladura del viento, los pilotos

únicamente tienen alrededor de 5–15 segundos para reaccionar correctamente a esta peligrosa situación (Golding, 2005).

La OLLJ representa un riesgo para las operaciones aéreas en al menos 13 aeropuertos regionales y bases aéreas ubicadas sobre las llanuras que conforman la cuenca del Río Orinoco en Colombia y Venezuela (Figura 2), siendo especialmente significativo si se tiene en cuenta que la infraestructura vial sobre esta región no es confiable ni lo suficientemente densa, por lo que los aviones se convierten en el principal medio de transporte para más de un millón de pasajeros al año (Unidad Administrativa de Aeronáutica Civil, 2019) que buscan una conexión permanente con el interior del país.

Las extensas llanuras de la cuenca del Río Orinoco, generalmente denominadas como los Llanos (Olson & Dinerstein, 2002), forman un amplio arco elipsoidal con una longitud aproximada de 1.300 km, el cual comienza en el extremo norte de la selva amazónica colombiana y termina en la región de Las Mesas, junto al Estado de Delta Amacuro en Venezuela; aquí el Río Orinoco desemboca en el Golfo de Paría y el Océano Atlántico. Los Llanos, con un área de alrededor 400.000 km<sup>2</sup>, están enmarcados por el Macizo Guayanés hacia el sureste, por la Cordillera Oriental y la de Mérida hacia el oeste, y por la Cordillera de la Costa hacia el norte (Figura 2).

La OLLJ ya había sido identificada y caracterizada a través de simulaciones de mesoescala (Rife et al., 2010; Vernekar et al., 2003) y haciendo uso de diferentes combinaciones de globos piloto, radiosondas, datos en superficie, y reanálisis (p. ej., Douglas et al., 2005; Labar et al., 2005; Montoya et al., 2001; C. Rueda, 2015; Torrealba & Amador, 2010). Sin embargo, debido al alcance de esos estudios previos (global o regional), a la amplitud de las grillas espaciales usadas en los modelos (desde 32 hasta 111 km), y a las limitaciones espaciales o temporales de las observaciones (p. ej., globos pilotos, radiosondas), las características y los mecanismos físicos que dan origen a la OLLJ solo habían sido parcialmente resueltos. Este desconocimiento del comportamiento de la OLLJ ha impedido también evaluar su influencia sobre las operaciones aéreas que se realizan en esta región.

El propósito de este trabajo es presentar los últimos hallazgos en la caracterización espacial y temporal de la OLLJ, sus mecanismos de formación, así como su influencia sobre las operaciones aéreas, los cuales fueron obtenidos a través de la reducción dinámica de las condiciones de gran escala provistas por el modelo Global Forecast System (GFS; ver Han & Pan, 2011; Juang, 2011) Analysis. Para esta reducción dinámica se utilizó la versión avanzada de investigación del modelo Weather Research and Forecasting (WFR), a través del cual se obtuvo una mejor resolución espacial y temporal, en la mayoría de los casos hasta tres veces mayor, que la conseguida en estudios previos.

## Reducción Dinámica y Configuración del Modelo WRF

Para aplicaciones a nivel regional, uno de los métodos para solucionar las limitaciones en resolución que poseen los modelos globales es usar la reducción dinámica. El propósito de esta técnica de anidamiento de modelos es detallar con alta resolución la región de interés, utilizando las condiciones iniciales y de frontera provistas por un modelo de gran escala, cuya resolución es normalmente más amplia (Lo et al., 2008).

El modelamiento de alta resolución de la OLLJ se llevó a cabo con la versión 3.4.1 del modelo Advanced Research-WRF (WRF-ARW; Skamarock & Klemp, 2008), un moderno sistema de modelamiento de la atmósfera diseñado tanto para investigación meteorológica, como para predicción numérica del estado del tiempo. El modelo WRF-ARW no solamente es desarrollado y estudiado por una amplia comunidad de investigadores, sino que también es usado por la Fuerza Aérea Colombiana para generar los productos operacionales que se entregan a las tripulaciones de la aviación de Estado.

Los siguientes modelos y esquemas para las parametrizaciones físicas fueron utilizados en representación de la dinámica atmosférica cerca de, y sobre, la superficie, en donde las variaciones en los intercambios del calor, humedad, y momento afectan la OLLJ: el modelo de la superficie terrestre NOAA (National Centers for Environmental Prediction, Oregon State University, Air Force Weather Agency, and Hydrologic Research Lab; F. Chen & Dudhia, 2001) maneja el presupuesto energético en superficie. El esquema para la capa límite planetaria (CLP) Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino de Nivel 2,5 (MYNN2; Nakanishi & Niino, 2006) parametriza la mezcla turbulenta dentro de la troposfera más baja. El esquema MYNN2 es un esquema de mezcla local, con un cerramiento de 1,5-orden, que predice los términos de la energía cinética turbulenta (TKE) a escala de subgrilla. El esquema de cúmulos de Kain-Fritsch (Kain, 2004) parametriza la convección profunda mezclando el aire circundante con corrientes convectivas ascendentes y corrientes descendentes para calcular el efecto neto de la convección en las variables del modelo. El esquema del Modelo de Transferencia Radiativa Rápida para Modelos de Circulación Global GCM (RRTMG), tanto para la radiación de onda larga como de onda corta (Iacono et al., 2008; Mlawer et al., 1997), tiene en cuenta la alteración al flujo radiativo total causado por las nubes, el vapor de agua, y otros gases. El esquema microfísico de Thompson (Thompson et al., 2008) representa los procesos que controlan la formación, el crecimiento y la precipitación de las diferentes especies microfísicas del agua, incluyendo el hielo, la nieve y el graupel (granos de hielo). La configuración del modelo WRF se resume en la Tabla 21.

La reducción dinámica entre noviembre de 2013 y marzo de 2014 generó salidas horarias de análisis de las condiciones atmosféricas sobre el norte de Sudamérica, con una grilla horizontal espaciada cada 9 km y 51 niveles verticales (desde la superficie hasta 50 hPa). El dominio está centrado en 7°N y 68,5°W con dimensiones de 407 × 284 puntos de grilla, lo que equivale a 3.633 km × 2.556 km (Figura 2). El periodo de estudio escogido brindó la oportunidad de analizar la OLLJ aislando la variabilidad del viento producida por el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur.

Las condiciones iniciales y de frontera, desde las 1200 UTC del 31 de octubre de 2013 hasta las 1200 UTC del 1 de abril de 2014, fueron proporcionadas por el modelo GFS Análisis (Unidata/University Corporation for Atmospheric Research et al., 2003) cuya grilla es de 0.5° × 0.5°. El GFS Análisis representa un estado base histórico de la atmósfera a intervalos de 6 horas (0000, 0600, 1200 y 1800 UTC), basado en cuatro modelos separados (p. ej., un modelo de atmósfera, un modelo de océano, un modelo de tierra/suelo y un modelo de hielo marino) que trabajan juntos para generar un estimado de las condiciones del estado del tiempo. Las condiciones de frontera se actualizaron cada 6 horas, y debido a que la reinicialización frecuente presenta mejores resultados que las ejecuciones de simulación continua (Lo et al., 2008), el modelo se reinició cada 4 días con un periodo de ajuste previo de 12 horas (1200–0000 UTC). Este procedimiento de reinicialización significa que 12 horas antes del primer día de cada corrida de 4 días, se proporcionaron nuevas condiciones meteorológicas iniciales y de frontera, tanto meteorológicas como en superficie; sin embargo, esas horas iniciales de corrida no se consideraron como parte de la corrida de largo plazo.

Para validar las simulaciones del modelo, y debido a la falta de observaciones confiables, se compararon las salidas del modelo NCEP FNL Análisis Global Operacional y del GFS Análisis; los resultados (no mostrados) indicaron similitud con los resultados del modelo WRF, prediciendo no solo la misma estructura general y temporalidad de la OLLJ sino también la ubicación de los núcleos principales. La mayor resolución del terreno obtenida con la simulación WRF permitió la identificación de núcleos adicionales, los cuales no fueron resueltos por los modelos de análisis antes mencionados. También se realizó una simulación de sensibilidad utilizando un esquema no local de CLP (i. e., esquema Universidad de Yonsei) para explorar las diferencias en la estructura, temporalidad e intensidad del OLLJ, dado que la elección del esquema de CLP afecta la estructura de la capa límite simulada y la proyección de la mezcla vertical (Draxl et al., 2014; Shin & Hong, 2011; Storm et al., 2009). La comparación (no mostrada) evidenció que la simulación con el esquema no local de CLP tiende a producir vientos más débiles que los producidos al utilizar el esquema local (MYNN2); sin embargo, a pesar de esto, las estadísticas de la OLLJ no se ven afectadas significativamente: la estructura y temporalidad se conservan, y las diferencias de velocidad del viento son en su mayoría de ~ 1–2 m/s. Por lo tanto, ambas simulaciones muestran

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

una buena concordancia con los datos del NCEP FNL Análisis Global Operacional y del GFS Análisis.

Algunas modificaciones hechas al solucionador dinámico del WRF-ARW (Moisseeva & Steyn, 2014) permitieron extraer, de la ecuación de conservación del momento horizontal, los términos individuales de tendencia, de forma tal que se pudiera evaluar la contribución de cada forzamiento a la aceleración total del viento. Después de la extracción, se construyó un sistema de coordenadas paralelo (s) y en sentido transversal (n) al flujo, aplicando para ello el producto escalar del vector unitario de dirección del viento y el vector unitario de la dirección de la fuerza de Coriolis, respectivamente, a cada término de tendencia. Las ecuaciones finales de conservación de momento que caracterizan los componentes del flujo en su sentido paralelo y transversal son:

$$\begin{aligned} (1) \quad & \frac{\partial V_s}{\partial \tau} = -\frac{\partial \Phi}{\partial s} + (-V \cdot \nabla V)_s - fV_n + Res \\ (2) \quad & \frac{\partial V_n}{\partial \tau} = -\frac{\partial \Phi}{\partial n} + (-V \cdot \nabla V)_n + fV_s + Res \end{aligned}$$

Ilustración 70 Ecuación 1 y 2.

Las ecuaciones 1 y 2 enuncian que la aceleración local del viento horizontal (término del lado izquierdo), a lo largo de los ejes paralelo y transversal al flujo respectivamente, es balanceada por la suma del gradiente de presión horizontal, la advección horizontal, la fuerza de Coriolis y el término residual. Este último contiene las aceleraciones debidas a la advección del momento vertical, la proyección del mapa, la difusión del modelo, parametrizaciones físicas, así como errores en el cálculo de los otros términos. En la capa límite, el término residual está dominado por los efectos de la fricción superficial.

## Características y Evolución

### Identificación

Siguiendo la metodología establecida por Jiménez-Sánchez et al. (2019), la cual a su vez se basó en los criterios seleccionados por Ranjha et al. (2013) para identificar LLJ costeras y por Bonner (1968) para identificar la LLJ de las Grandes Llanuras de EE. UU., se utilizaron los siguientes criterios para identificar la OLLJ:

1. Que el nivel del viento máximo esté dentro de los 2 km más bajos sobre el nivel del suelo (AGL).

2. Que la velocidad del viento al nivel del viento máximo sea al menos un 40% mayor que la velocidad del viento en la superficie (i. e., el nivel más bajo del modelo).
3. Que la velocidad del viento por encima del nivel del viento máximo disminuya al menos un 20% dentro de los 3 km más cercanos de la superficie.

Estos criterios se aplicaron cada hora, en cada punto de grilla horizontal dentro del dominio, durante el período de 5 meses, obteniendo como resultado que la OLLJ está presente durante más de 6 horas al día durante, al menos, 135 días (Figura 3). Esto significa que la OLLJ fue identificada, en cualquier caso, el 89% del total del período de estudio. Adicionalmente, en la mayoría de las regiones sobre las que se encuentran los núcleos (C1–C4, en la Figura 3), la velocidad del viento fue tan persistente que los criterios se cumplieron todos los días (150 días).

## Estructura y Variabilidad Espacial

La OLLJ, como se muestra en la Figura 4, es un tubo de corriente de 2.000 km de largo, 300 km de ancho y 2,5 km de profundidad, con velocidades medias del viento superiores a 8 m/s (Jiménez-Sánchez et al., 2019). Esta corriente en chorro, desde 61°W a 67°W, fluye hacia el oeste a lo largo del paralelo 8°N aproximadamente, y luego se desvía hacia el suroeste, fluyendo adyacente a la Cordillera desde 8°N hasta el ecuador. En la última parte de su curso, alrededor de 2°N y 74°W, la Serranía de La Macarena desvía la OLLJ levemente hacia el este, separándola así de la Cordillera Oriental.

La altitud del núcleo de la OLLJ aumenta gradualmente en el sentido de la corriente, desde 750 m AGL en la región de entrada donde el viento es mayormente zonal (Figura 4d), hasta 1.200 m AGL después de alcanzar las laderas de la Cordillera Oriental (Figura 4c). Se eleva aún más, hasta los 1.500 m AGL en la región de salida (Figura 4b), posiblemente influenciado por la elevación subyacente de la Serranía de La Macarena un poco más flujo arriba.

Dentro del tubo de corriente de la OLLJ, ocurren cuatro rachas o Low-Level Jet Streaks (LLJSs), es decir, máximas locales de velocidad del viento a pequeña escala en donde las velocidades medias del viento superan los 10 m/s. La primera LLJS (C1), donde los vientos son aproximadamente del este, se encuentra sobre la Mesa de Guanipa cerca de 9.5°N y 64.2°W. La segunda LLJS (C2) está centrada sobre los Llanos venezolanos cerca de 7.5°N y 67°W, a lo largo del límite noroeste del Macizo Guayanés, donde los vientos son del este-noreste. A lo largo de la Cordillera Oriental en Colombia, cerca de 5°N y 72°W, se encuentra la tercera LLJS (C3). La cuarta

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

LLJS (C4) está ubicada sobre la selva amazónica colombiana cerca de 2°N y 73.5°W. Dentro de las LLJSs C3 y C4 los vientos fluyen del noreste.

## Variabilidad Temporal

### Verano Austral

La OLLJ es un fenómeno que ocurre fundamentalmente durante el verano austral (Jiménez-Sánchez et al., 2019; C. Rueda, 2015), estableciéndose débil y progresivamente en el mes de noviembre, hasta alcanzar su máxima intensidad y elongación espacial en enero (Figura 5). Ya se evidencia en el mes de noviembre (Figura 5a) que la OLLJ es una estructura única de 1.900 km de longitud (muy cerca de su valor promedio), 250 km de ancho, y 2.5 km de espesor vertical, aproximadamente. En enero (Figura 5c) la corriente alcanza dimensiones horizontales de 2.100 km de longitud y 450 km de ancho.

### Ciclo diurno

La variación diurna de la OLLJ se presenta en la Figura 6, donde se puede observar que la corriente es más intensa y alcanza su mayor extensión espacial a las 0700 HL (Figura 6d). Se distinguen las cuatro regiones de las LLJS, algunas de las cuales son tan intensas ( $>14$  m/s) y extensas que se unen con las adyacentes (C1–C3). La región C4 es la más pequeña de las LLJSs; sin embargo, la estructura de cuatro LLJSs se mantiene a lo largo del día.

A medida que el sol sale y el calentamiento radiativo aumenta la temperatura de la superficie terrestre, se produce una mezcla vertical turbulenta muy vigorosa en la capa límite convectiva que hace que los vientos se desaceleren. A las 1500 HL, las velocidades del viento son las menos intensas y la OLLJ también exhibe su mayor reducción espacial (Figura 6f). Al final de la tarde, con el debilitamiento del calentamiento radiativo, la capa superficial comienza a enfriarse y la tropósfera inferior se vuelve estáticamente estable. Como resultado, la mezcla vertical del aire retardado por fricción disminuye hasta desaparecer, y así entonces, el aire inmediatamente superior a esta capa, ahora sin fricción, se acelera (Stull, 2015).

## Mecanismos de Formación

De acuerdo con Jiménez-Sánchez et al. (2020), la descomposición y transformación de la ecuación de conservación del momento (Ecuaciones 1 y 2) permitieron la evaluación de la contribución de los términos individuales de tendencia a la aceleración de la OLLJ. En términos generales, se puede decir que el residuo (i. e., efectos de la fricción) es el principal término causante de la desaceleración total del viento horizontal en el sentido del flujo durante el día (Figura 7). Por otro lado, durante la noche, cuando su valor se acerca a 0 (i. e., sin efectos de fricción), las otras fuerzas en equilibrio provocan la aceleración positiva del viento en el sentido de la corriente. Esto último es particularmente cierto para las regiones C3–C4 (Figuras 7c y 7d), mientras que para las regiones C1–C2 (Figuras 7a y 7b) el término de advección negativa acorta el ciclo total de la aceleración nocturna.

Además de los efectos de la variación diurna de la difusividad turbulenta descritos en el párrafo anterior, la OLLJ es el resultado de otros tres mecanismos que actúan en conjunto para acelerar el viento, produciendo una estructura unificada que se extiende desde el delta del Orinoco hasta la selva amazónica (Jiménez-Sánchez et al., 2020). Los cuatro mecanismos, representados en la Figura 8, corresponden a la (i) penetración de la brisa de mar sobre el delta del río Orinoco y la depresión del río Unare, al (ii) flujo catabático descendente de la Cordillera de la Costa, a la formación de (iii) tres abanicos de expansión por curvaturas en la topografía (estelas de punto), y como se había mencionado antes, a la (iv) variación diurna de la difusividad turbulenta.

Jiménez-Sánchez et al. (2020), demostraron que la continua advección nocturna de aire relativamente frío, a través de la región del delta del Orinoco y de la depresión del río Unare (i. e., la penetración de las brisas de mar), así como aquella descendiendo por las laderas de la Cordillera de la Costa (flujo catabático), constituyen una sola corriente de densidad que se fusiona sobre los Llanos y se propaga en dirección al ecuador, provocando la aceleración del viento detrás de su borde anterior. A medida que esta amplia corriente de densidad y el flujo a gran escala se mueven a lo largo de la cuenca del Río Orinoco, la interacción con curvaturas prominentes en la topografía circundante crea estelas de punto en tres lugares fijos: el cerro La Emilia en el límite noroeste del Macizo Guayanés (C2), el cerro Umpara en la Cordillera Oriental (C3), y la Serranía de La Macarena (C4).



## Impacto en las Operaciones Aéreas

Teniendo claras las dimensiones horizontales y verticales, la intensidad del flujo, su variabilidad diurna y mensual, así como los mecanismos que dan origen a la OLLJ, se hace pertinente entonces evaluar el impacto, que ocasiona este cambio repentino en el viento predominante, sobre las operaciones aéreas regionales; entendiéndose para ello que, cualquier fenómeno atmosférico u obstáculo físico que produzca un cambio en la dirección y/o velocidad del viento causa, en efecto, cizalladura del viento.

La cizalladura del viento en las capas bajas, en su sentido más amplio, abarca una familia de movimientos del aire en los niveles inferiores de la atmósfera, que van desde remolinos y ráfagas a pequeña escala que pueden afectar a las aeronaves en forma de turbulencia, hasta el flujo a gran escala cuando una masa de aire pasa junto a la otra. Entre la amplia variedad de fenómenos que producen tales movimientos de aire se incluyen las tormentas eléctricas, las brisas de mar y de tierra, las LLJs, las ondas de montaña y los sistemas frontales (International Civil Aviation Organization, 2005). Para el caso de la OLLJ, tanto la corriente en sí misma, como las brisas de mar, el flujo catabático y los abanicos de expansión producen cizalladura en el viento.

La cizalladura del viento, o Wind Shear (WS), que es el cambio del vector del viento de un punto a otro en el espacio, es en sí misma un vector, es decir que tiene tanto velocidad como dirección; por lo tanto, se obtiene por la diferencia vectorial entre los vientos en ambos puntos. La intensidad de la WS se calcula dividiendo la magnitud de la diferencia vectorial entre los dos puntos por la distancia entre ellos. Para facilitar la comprensión al personal operativo, de la sensación física que causa la WS sobre la aeronave, en esta sección se describirá la variación de la intensidad de la WS en nudos por cada 100 pies (Kt/100 ft).

La Figura 9 muestra la dirección y velocidad promedio del vector de WS que encontraría una aeronave en descenso entre los 2.100 ft y los 300 ft AGL (p. ej., en fase de aproximación) en diferentes horas del día, durante el verano austral. Si la aeronave fuera en ascenso, la magnitud de la cizalladura seguiría siendo la misma, pero la dirección del vector sería la opuesta; lo cual es importante tomando en cuenta la diferencia en los efectos sobre la sustentación de la aeronave (Figura 1).

Es importante para el piloto entender que los resultados en la Figura 9 simplemente dan la WS total entre las dos altitudes. No hay ninguna indicación sobre si la tasa de cambio en la intensidad de la WS es lineal, o si no es lineal, al menos gradual entre los puntos, o si la mayor parte del cizallamiento ocurre únicamente en una distancia reducida en algún lugar entre las dos altitudes. Por lo tanto, no proporciona necesariamente la WS máxima en la capa. Es más, considerando que la altura de los núcleos C1–

C4 de la OLLJ son diferentes, y que podrían estar inclusive por encima de la capa usada para el cálculo de la WS, es posible que las aeronaves en tránsito de un aeródromo a otro, o realizando operaciones en esta región, puedan experimentar valores superiores de WS.

Durante el día, gracias a la mezcla turbulenta por calentamiento radiativo, la WS en capas bajas sobre los Llanos colombo-venezolanos es prácticamente despreciable (Figuras 9b y 9c); sin embargo, a finales de la tarde cuando el calentamiento radiativo cesa, el aire en las capas bajas se acelera causando el incremento progresivo de la WS (Figuras 9d, 9e y 9f). Es entre las 0300HL (Figura 9f) y las 0700 HL (Figura 9a) cuando el viento alcanza los valores máximos de WS en los niveles bajos de la atmósfera, formando tres áreas predominantes con intensidades superiores a los 0,3 Kt/100 ft: sobre los Llanos venezolanos, junto a la Cordillera Oriental cerca de la frontera colombo-venezolana, y sobre los departamentos de Meta y Guaviare en Colombia.

Los aeródromos regionales que pueden evidenciar con mayor intensidad los efectos de la WS en sus operaciones aéreas son los de San Fernando de Apure, Acarigua, y Barinas en Venezuela, y los de Arauca, Saravena, Tame, El Yopal, Villavicencio, Apiay, La Macarena, y San José del Guaviare en Colombia. La dirección de la WS sobre los Llanos colombianos es del suroeste, mientras que sobre los Llanos venezolanos es predominantemente del oeste. Esto quiere decir que cerca de las 0700 HL, por ejemplo, para una aeronave en descenso para aterrizaje en el aeródromo de Villavicencio (SKVV), cuya pista tiene orientación 05-23, el piloto debe esperar un cambio en el viento de frente de 0,4 Kt/100 ft; mientras que para una aeronave aproximando al aeródromo de Apiay (SKAP), cuya orientación es 09-27, el piloto debe esperar el mismo cambio, pero en el viento cruzado. En un descenso de 1.800 ft, como el calculado en la Figura 9, una tasa de cambio de 0,4 Kt/100 ft significa que la aeronave experimentará un cambio total de la componente de viento equivalente a 7,2 Kt, cuyos efectos aerodinámicos (Figura 1b) son especialmente significativos en aeronaves de bajo rendimiento (p. ej., aeronaves remotamente tripuladas, aviones de instrucción).

Una WS en la componente de viento cruzado tiene un efecto inicial directo sobre los ángulos de deriva y de deslizamiento lateral, lo que hace que la aeronave guíe y se balancee, pero sin efecto inicial sobre la velocidad y la altitud. La aeronave vira alejándose de la WS, guíe hacia la WS, y deriva lateralmente alejándose de la trayectoria de vuelo prevista. En consecuencia, las técnicas normales de guiñada y balanceo son suficientes para contrarrestar los efectos de la WS del viento cruzado (International Civil Aviation Organization, 2005).

A pesar de los efectos adversos en la velocidad e intensidad del viento que la OLLJ ocasiona a las aeronaves aterrizando o despegando de los aeródromos ubicados en el corredor de la corriente, también es pertinente resaltar que, gracias al reducido número de obstáculos geográficos y construcciones en la región, la OLLJ puede ser utilizada o evitada para disminuir el consumo de combustible. Por ejemplo, en el mes de enero, el

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

piloto de una aeronave desplazándose entre Arauca (SKUC) y Villavicencio (SKVV) a primeras horas de la mañana con una IAS = 200 Kt, podría escoger volar con una altitud de 4.000 ft, usando así el núcleo de la OLLJ como viento de cola (+27 Kt), lo que le significaría un aumento de su velocidad relativa con el terreno (GS = 227 Kt) y, por tanto, una disminución del tiempo de vuelo de al menos 8 minutos, con su consecuente impacto económico en el ahorro de combustible. En la trayectoria contraria (SKVV-SKUC), el piloto debería escoger volar por encima de los 6.000 ft, evitando así el mayor viento de frente producido por la OLLJ.

## Conclusiones

El uso de una reducción dinámica de las condiciones meteorológicas de gran escala, para reexaminar la OLLJ desde noviembre de 2013 hasta marzo de 2014, permitió, en comparación con otros estudios previos, la mejor representación de las características de la OLLJ, así como de su variabilidad espacial y temporal, la definición de los mecanismos físicos que contribuyen a su formación, y estimar el impacto que tiene para la operación aérea en los Llanos colombo-venezolanos.

La OLLJ está presente de noviembre a marzo, tiene aproximadamente 300 km de ancho y 2,5 km de profundidad, y puede extenderse más de 2.000 km desde la costa venezolana hasta la Amazonía colombiana. En promedio, los vientos superan los 8 m/s al interior de la OLLJ, y su interacción con la topografía circundante produce cuatro LLJSS con velocidades de viento más altas (C1-C4) a lo largo de su eje curvo de propagación. Es más débil (velocidades máximas del viento ~ 9 m/s) en noviembre, y tiene su mayor intensidad (velocidad máxima del viento ~ 14 m/s), así como su mayor extensión espacial (2100 km × 400 km), en enero.

En el ciclo diurno, la OLLJ es generalmente más intensa (velocidades medias del viento ~ 14 m/s) en las horas de la mañana (~0700 LST), y más débil (velocidad media del viento ~ 9 m/s) en la tarde (~1500 LST). La altitud del núcleo de la OLLJ cambia en la dirección de la corriente. En las regiones de entrada, centro y salida, las alturas del núcleo son, en promedio, 750, 1.200 y 1.500 m AGL, respectivamente.

La OLLJ es el resultado de cuatro fenómenos que actúan en conjunto para acelerar el viento sobre las planicies de la cuenca del Río Orinoco, a saber, la (i) penetración de la brisa de mar sobre el delta del río Orinoco y la depresión del río Unare, el (ii) flujo catabático descendiente de la Cordillera de la Costa, (iii) tres abanicos de expansión por curvaturas en la topografía (estelas de punto), y la (iv) variación diurna de la difusividad turbulenta. La continua advección de aire relativamente frío en horas de la noche, a través de la región del delta del Orinoco y de la depresión del río Unare (i. e., la penetración de las brisas de mar), así como desde las laderas de la Cordillera de la Costa (flujo catabático), constituyen una sola corriente de densidad que

se fusiona sobre los Llanos y se propaga en dirección al ecuador, provocando la aceleración del viento detrás de su borde de avance. La interacción del flujo con algunas curvaturas prominentes en la topografía circundante crea estelas de punto en tres lugares fijos: el Macizo Guayanés, la Cordillera Oriental, y la Serranía de La Macarena. Una evaluación del balance de la ecuación de conservación de momento, realizado para cada una de las LLJSs, mostró que la variación diurna de la difusividad turbulenta desacelera (día) y acelera (noche) los vientos horizontales en todo el dominio.

La cizalladura del viento en capas bajas creada por la OLLJ es de especial interés para la aviación regional, teniendo en cuenta que el transporte aéreo es el principal medio de conexión para los habitantes de las ciudades y municipios de los Llanos, tan alejados del centro de gravedad geopolítico en Colombia y Venezuela. El impacto para las operaciones aéreas se cuantificó a través de la determinación del vector de WS al que se verían afectadas las aeronaves realizando su aproximación final a cualquiera de los aeródromos sobre la planicie de la cuenca del Río Orinoco. Durante la temporada seca (verano austral), el mayor riesgo de sentir los efectos por WS en la aerodinámica de la aeronave, se encuentra en los Estados de Portuguesa, Barinas, Guárico, y Apure en Venezuela; y en los Departamentos de Arauca, Casanare, Meta, y Guaviare en Colombia; entre las 0300–0700 HL. Por lo tanto, los pilotos efectuando operaciones nocturnas (tripuladas o no tripuladas) por debajo de los 6.000 ft, despegando o aterrizando en cualquiera de los aeródromos en estos Estados o Departamentos, deben tener en cuenta la afectación sobre la deriva, la sustentación, el balanceo o la guiñada, a los que puede verse sometida la aeronave. Esta recomendación es especialmente válida para las aeronaves de bajo rendimiento.

Operacionalmente, y teniendo en cuenta el sentido este predominante en el flujo sobre los Llanos venezolanos y noreste sobre los Llanos colombianos, la OLLJ puede ser utilizada a favor para obtener reducciones en los tiempos de vuelo y ahorro en el consumo de combustible, o para evitar los efectos contrarios al volar corriente arriba. La traducción en la reducción de costos, derivada de estas ventajas operacionales, dependerán de la frecuencia de operación en las rutas regionales, las cartas de rendimiento de cada aeronave, y las horas del día en las que se realizan los vuelos. Tener una mejor caracterización y comprensión de la OLLJ, así como del impacto de esta a las operaciones aéreas regionales, proporciona información más precisa a pronosticadores, controladores y pilotos para tomar decisiones que podrían salvar vidas.

## Bibliografía

Algarra, I., Eiras-Barca, J., Nieto, R., & Gimeno, L. (2019). Global climatology of nocturnal low-level jets and associated moisture sources and sinks. *Atmospheric Research*, 229, 39–59. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.06.016>

Amador, J. A. (2008). The Intra-Americas Sea low-level jet: Overview and future research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 153–188. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.012>

Balmez, M., & Ştefan, S. (2014). On the formation mechanism of low-level jet over Bucharest's airports. *Atmosphere Physics*, 59(Figure 1), 792–807.

Blackadar, A. K. (1957). Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 38, 283–290.

Bonner, W. D. (1963). Thunderstorms and the low-level jets. 19–33.

Bonner, W. D. (1968). Climatology of the Low Level Jet. *Monthly Weather Review*, 96(12), 833–850. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1968\)096<0833:COTLLJ>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1968)096<0833:COTLLJ>2.0.CO;2)

Bonner, W. D., & Paegle, J. (1970). Diurnal variations in boundary layer winds over the south-central united states in summer. *Monthly Weather Review*, 98(10), 735–744. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1970\)098<0735:DVIBLW>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1970)098<0735:DVIBLW>2.3.CO;2)

Chen, F., & Dudhia, J. (2001). Coupling and advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129(4), 569–585. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0569:caalsh>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0569:caalsh>2.0.co;2)

Chen, G. T.-J., & Hsu, Y.-S. (1997). Composite structure of a Low-Level Jet over Southern China observed during the TAMEX period. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75(6), 1003–1018.

Chen, R., & Tomassini, L. (2015). The Role of Moisture in Summertime Low-Level Jet Formation and Associated Rainfall over the East Asian Monsoon Region. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 72(10), 3871–3890. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-15-0064.1>

Cook, K. H., & Vizy, E. K. (2010). Hydrodynamics of the Caribbean low-level jet and its relationship to precipitation. *Journal of Climate*, 23(6), 1477–1494. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3210.1>

Do Nascimento, M. G., Herdies, D. L., & De Souza, D. O. (2016). The south American water balance: The influence of low-level jets. *Journal of Climate*, 29(4), 1429–1449. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0065.1>

Douglas, M., Murillo, J., & Mejía, J. (2005). Conducting short duration field programs to evaluate sounding site representativeness and potential climate monitoring biases. Examining the low-level jet over the Venezuelan llanos during the 2005 dry season. 15th Conference on Applied Climatology. <http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs>

Doyle, J. D., & Warner, T. T. (1993). A Three-Dimensional Numerical Investigation of a Carolina Coastal Low-Level Jet during GALE IOP 2. *Monthly Weather Review*, 121(4), 1030–1047. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<1030:ATDNIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<1030:ATDNIO>2.0.CO;2)

Draxl, C., Hahmann, A. N., Peña, A., & Giebel, G. (2014). Evaluating winds and vertical wind shear from Weather Research and Forecasting model forecasts using seven planetary boundary layer schemes. *Wind Energy*. <https://doi.org/10.1002/we.1555>

Du, Y., & Chen, G. (2018). Heavy rainfall associated with double low-level jets over southern China. Part I: Ensemble-based analysis. *Monthly Weather Review*, 146(11). <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0101.1>

Du, Y., & Chen, G. (2019). Heavy rainfall associated with double low-level jets over southern China. Part II: Convection initiation. *Monthly Weather Review*, 147(2). <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0102.1>

Du, Y., Chen, Y.-L., & Zhang, Q. (2015). Numerical Simulations of the Boundary Layer Jet off the Southeastern Coast of China. *Monthly Weather Review*, 143(4), 1212–1231. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00348.1>

Du, Y., & Rotunno, R. (2014). A Simple Analytical Model of the Nocturnal Low-Level Jet over the Great Plains of the United States. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71(10), 3674–3683. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-14-0060.1>

Du, Y., Zhang, Q., Chen, Y. L., Zhao, Y., & Wang, X. (2014). Numerical simulations of spatial distributions and diurnal variations of low-level jets in China during early summer. *Journal of Climate*, 27(15), 5747–5767. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00571.1>

Findlater, J. (1969). A major low level air current near the Indian Ocean during the northern summer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 95, 362–380.

Gallego, D., García-Herrera, R., De Paula Gómez-Delgado, F., Ordoñez-Perez, P., & Ribera, P. (2019). Tracking the moisture transport from the Pacific towards Central and northern South America since the late 19th century. *Earth System Dynamics*, 10(2). <https://doi.org/10.5194/esd-10-319-2019>

Giannakopoulou, E. M., & Toumi, R. (2012). The Persian Gulf summertime low-level jet over sloping terrain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138(662), 145–157. <https://doi.org/10.1002/qj.901>

Gimeno, L., Dominguez, F., Nieto, R., Trigo, R., Drumond, A., Reason, C., Taschetto, A., Ramos, A., Kumar, R., & Marengo, J. (2016). Major mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 41, 117–141. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085558>

Golding, W. L. (2005). Low-Level Windshear and Its Impact on Airlines. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 14(2). <https://doi.org/10.15394/jaer.2005.1530>

Guan, W.-L., & Yong, K. (2002). Review of aviation accidents caused by wind shear and identification methods. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, 23(2), 99–109. [papers2://publication/uuid/55540006-3DA0-4B07-919C-AF6B195EAD7E](https://doi.org/10.1007/BF00874409)

Han, J., & Pan, H.-L. (2011). Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP Global Forecast System. *Weather and Forecasting*, 26(4), 520–533. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-10-05038.1>

Hart, J. E. (1977). On the theory of the East African Low Level Jet Stream. *Pure and Applied Geophysics PAGEOPH*, 115(5–6), 1263–1282. <https://doi.org/10.1007/BF00874409>

He, M.-Y., Liu, H. B., Wang, B., & Zhang, D. L. (2016). A modeling study of a low-level jet along the Yun-Gui Plateau in South China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(1), 41–60. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0067.1>

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

- Hidalgo, H. G., Durán-Quesada, A. M., Amador, J. A., & Alfaro, E. J. (2015). The caribbean low-level jet, the inter-tropical convergence zone and precipitation patterns in the intra-Americas Sea: A proposed dynamical mechanism. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 97(1), 41–59. <https://doi.org/10.1111/geoa.12085>
- Holton, J. R. (1967). The diurnal boundary layer wind oscillation above sloping terrain. *Tellus*, 19(2), 199–205. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v19i2.9766>
- Iacono, M. J., Delamere, J. S., Mlawer, E. J., Shephard, M. W., Clough, S. A., & Collins, W. D. (2008). Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 113(13), 2–9. <https://doi.org/10.1029/2008JD009944>
- International Civil Aviation Organization. (2005). *Manual on Low-level Wind shear* (1. ed, Vol. 823). Internat. Civil Aviation Organization.
- Jiménez-Sánchez, G., Markowski, P., Jewtoukoff, V., Young, G., & Stensrud, D. J. (2019). The Orinoco Low-Level Jet: An Investigation of Its Characteristics and Evolution Using the WRF Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(20), 10696–10711. <https://doi.org/10.1029/2019JD030934>
- Jiménez-Sánchez, G., Markowski, P. M., Young, G. S., & Stensrud, D. J. (2020). The Orinoco Low-Level Jet: An Investigation of Its Mechanisms of Formation Using the WRF Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(13). <https://doi.org/10.1029/2020JD032810>
- Jones, C. (2019). Recent changes in the South America low-level jet. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2(February), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0077-5>
- Juang, H.-M. H. (2011). A multiconserving discretization with enthalpy as a thermodynamic prognostic variable in generalized hybrid vertical coordinates for the NCEP Global Forecast System. *Monthly Weather Review*, 139(5), 1583–1607. <https://doi.org/10.1175/2010MWR3295.1>
- Juliano, T. W., Parish, T. R., Rahn, D. A., & Leon, D. C. (2017). An atmospheric hydraulic jump in the Santa Barbara Channel. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2981–2999. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-16-0396.1>
- Kain, J. S. (2004). The Kain–Fritsch Convective Parameterization: An Update. *Journal of Applied Meteorology*, 43(1), 170–181. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2)
- Krishnamurthy, L., Vecchi, G. A., Msadek, R., Wittenberg, A., Delworth, T. L., & Zeng, F. (2015). The seasonality of the great plains low-level Jet and ENSO relationship. *Journal of Climate*, 28(11), 4525–4544. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00590.1>
- Kulesa, G. (2002). Weather and aviation: ¿How does weather affect the safety and operations of airports and aviation, and how does FAA work to manage weather-related effects? *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation Workshop*, 1–10.
- Labar, R. J., Douglas, M., Murillo, J., & Mejia, J. F. (2005). The Llanos low-level jet and its association with Venezuelan convective precipitation. *Weather*, 98926(August), 1–21.
- Li, D., von Storch, H., Yin, B., Xu, Z., Qi, J., Wei, W., & Guo, D. (2018). Low-Level Jets Over the Bohai Sea and Yellow Sea: Climatology, Variability, and the Relationship With Regional Atmospheric Circulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(10). <https://doi.org/10.1029/2017JD027949>

- Liu, H., He, M. M.-Y., Wang, B., & Zhang, Q. (2014). Advances in low-level jet research and future prospects. *Journal of Meteorological Research*, 28(1), 57–75. <https://doi.org/10.1007/s13351-014-3166-8>
- Liu, M., Westphal, D. L., Holt, T. R., & Xu, Q. (2000). Numerical Simulation of a Low-Level Jet over Complex Terrain in Southern Iran. *Monthly Weather Review*, 128(5), 1309–1327. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128<1309:NSOALL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128<1309:NSOALL>2.0.CO;2)
- Lo, J. C.-F., Yang, Z.-L., & Pielke, R. A. (2008). Assessment of three dynamical climate downscaling methods using the Weather Research and Forecasting (WRF) model. *Journal of Geophysical Research*, 113(D9), D09112. <https://doi.org/10.1029/2007JD009216>
- Maldonado, T., Rutgersson, A., Amador, J., Alfaro, E., & Claremar, B. (2016). Variability of the Caribbean low-level jet during boreal winter: Large-scale forcings. *International Journal of Climatology*, 36(4), 1954–1969. <https://doi.org/10.1002/joc.4472>
- Maldonado, T., Rutgersson, A., Caballero, R., Pausata, F. S. R., Alfaro, E., & Amador, J. (2017). The role of the meridional sea surface temperature gradient in controlling the Caribbean low-level jet. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(11), 5903–5916. <https://doi.org/10.1002/2016JD026025>
- Marengo, J. A., Soares, W. R., Saulo, C., & Nicolini, M. (2004). Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. *Journal of Climate*, 17(12), 2261–2280. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2)
- Markowski, P., & Richardson, Y. (2010). The nocturnal low-level wind maximum. In *Mesoscale meteorology in midlatitudes* (pp. 105–112). Wiley-Blackwell.
- Miao, Y., Guo, J., Liu, S., Wei, W., Zhang, G., Lin, Y., & Zhai, P. (2018). The Climatology of Low-Level Jet in Beijing and Guangzhou, China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(5), 2816–2830. <https://doi.org/10.1002/2017JD027321>
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., & Clough, S. A. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 16663–16682. <https://doi.org/10.1029/97JD00237>
- Moisseeva, N., & Steyn, D. G. (2014). Dynamical analysis of sea-breeze hodograph rotation in Sardinia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(24), 13471–13481. <https://doi.org/10.5194/acp-14-13471-2014>; 10.5194/acp-14-13471-2014-supplement.
- Montini, T. L., Jones, C., & Carvalho, L. M. V. (2019). The South American Low-Level Jet: A New Climatology, Variability, and Changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(3), 1200–1218. <https://doi.org/10.1029/2018JD029634>
- Montoya, G. J., Pelkowski, J., & Eslava, J. (2001). Sobre los alisios del nordeste y la existencia de una corriente en el piedemonte oriental Andino. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 25(96), 363–370. <https://doi.org/0370-3908>
- Muñoz, E., Busalacchi, A. J., Nigam, S., & Ruiz-Barradas, A. (2008). Winter and summer structure of the Caribbean low-level jet. *Journal of Climate*, 21(6), 1260–1276. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1855.1>
- Nakanishi, M., & Niino, H. (2006). An improved Mellor-Yamada Level-3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. *Boundary-Layer Meteorology*, 119(2), 397–407. <https://doi.org/10.1007/s10546-005-9030-8>



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Nicholson, S. (2016). The Turkana low-level jet: Mean climatology and association with regional aridity. *International Journal of Climatology*, 36(6), 2598–2614. <https://doi.org/10.1002/joc.4515>

Oliveira, M., Nascimento, E., & Kannenberg, C. (2018). A New Look at the Identification of Low-Level Jets in South America. *Monthly Weather Review*, 2018, 2315–2334. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0237.1>

Olson, D. M., & Dinerstein, E. (2002). The Global 200: Priority Ecoregions for Global Conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89(2), 199–224. <https://doi.org/10.2307/3298564>

Parish, T. R. (2016). A comparative study of the 3 June 2015 great plains low-level jet. *Monthly Weather Review*, 144(8). <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0071.1>

Parish, T. R. (2017). On the Forcing of the Summertime Great Plains Low-Level Jet. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 74(12), 3937–3953. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-17-0059.1>

Patricola, C. M., & Chang, P. (2017). Structure and dynamics of the Benguela low-level coastal jet. *Climate Dynamics*, 49(7–8), 2765–2788. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3479-7>

Poveda, G., & Mesa, O. (1999). La Corriente de chorro superficial del oeste (“del Chocó”) y otras dos corrientes de chorro en Colombia: Climatología y Variabilidad durante las fases del ENSO. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 23(89), 517–528.

Poveda, Germán, Jaramillo, L., & Vallejo, L. F. (2014). Seasonal precipitation patterns along pathways of South American low-level jets and aerial rivers. *Water Resources Research*, 50(1), 98–118. <https://doi.org/10.1002/2013WR014087>

Poveda, Germán, & Mesa, O. J. (2000). On the Existence of Lloro (the Rainiest Locality on Earth): Enhanced Ocean-Land-Atmosphere Interaction by a Low-Level Jet. *Geophysical Research Letters*, 27(11), 1675–1678.

Prabha, T. V., Goswami, B. N., Murthy, B. S., & Kulkarni, J. R. (2011). Nocturnal low-level jet and “atmospheric streams” over the rain shadow region of Indian western ghats. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(658), 1273–1287. <https://doi.org/10.1002/qj.818>

Ranjha, R., Svensson, G., Tjernström, M., & Semedo, A. (2013). Global distribution and seasonal variability of coastal low-level jets derived from ERA-Interim reanalysis. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 65(1), 1–21. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v65i0.20412>

Rife, D. L., Pinto, J. O., Monaghan, A. J., Davis, C. A., & Hannan, J. R. (2010). Global distribution and characteristics of diurnally varying low-level jets. *Journal of Climate*, 23(19), 5041–5064. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3514.1>

Rojas, G. M. (2008). Low level jets in the tropical Americas. Colorado State University.

Rueda, C. (2015). Caracterización de la corriente en chorro de bajo nivel de los llanos orientales colombianos (Characterization of the low-level jet over the Colombian Eastern llanos). Universidad Nacional de Colombia.

Rueda, O., & Poveda, G. (2006). Variabilidad espacial y temporal del chorro del “Chocó” y su efecto en la hidroclimatología de la región del Pacífico colombiano. *Meteorol. Col*, 50(1), 132–145.

Shapiro, A., Fedorovich, E., & Rahimi, S. (2016). A Unified Theory for the Great Plains Nocturnal Low-Level Jet. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 73(8), 3037–3057. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-15-0307.1>

Shin, H. H., & Hong, S. Y. (2011). Intercomparison of Planetary Boundary-Layer Parametrizations in the WRF Model for a Single Day from CASES-99. *Boundary-Layer Meteorology*. <https://doi.org/10.1007/s10546-010-9583-z>

Shu, Z. R., Li, Q. S., He, Y. C., & Chan, P. W. (2018). Investigation of low-level jet characteristics based on wind profiler observations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.01.035>

Silva, G. A. M., Ambrizzi, T., & Marengo, J. A. (2009). Observational evidences on the modulation of the South American Low Level Jet east of the Andes according the ENSO variability. *Ann. Geophys*, 27, 645–657. <https://doi.org/10.5194/angeo-27-645-2009>

Skamarock, W. C., & Klemp, J. B. (2008). A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. *Journal of Computational Physics*, 227(7), 3465–3485. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2007.01.037>

Soares, P. M. M., Cardoso, R. M., Semedo, Á., Chinita, M. J., & Ranjha, R. (2014). Climatology of the Iberia coastal low-level wind jet: Weather research forecasting model high-resolution results. *Tellus, Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 66(1), 1–19. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.22377>

Song, J., Liao, K., Coulter, R. L., & Lesht, B. M. (2005). Climatology of the Low-Level Jet at the Southern Great Plains Atmospheric Boundary Layer Experiments Site. *Journal of Applied Meteorology*, 44(1968), 1593–1606. <https://doi.org/10.1175/JAM2294.1>

Squitieri, B. J. (2014). WRF forecast skill of the Great Plains low level jet and its correlation to forecast skill of mesoscale convective system precipitation. Iowa State University.

Stensrud, D. J. (1996). Importance of low-level jets to climate: A review. *Journal of Climate*, 9(8), 1698–1711. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<1698:IOILLJT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<1698:IOILLJT>2.0.CO;2)

Storm, B., Dudhia, J., Basu, S., Swift, A., & Giammanco, I. (2009). Evaluation of the weather research and forecasting model on forecasting low-level jets: Implications for wind energy. *Wind Energy*, 12(1), 81–90. <https://doi.org/10.1002/we.288>

Stull, R. (2015). Atmospheric Boundary Layer. In *Practical Meteorology: An algebra-based survey of atmospheric science* (pp. 687–722). University of British Columbia.

Tang, Y., Winkler, J., Zhong, S., Bian, X., Doubler, D., Yu, L., & Walters, C. (2017). Future changes in the climatology of the Great Plains low-level jet derived from fine resolution multi-model simulations. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05135-0>

Thompson, G., Field, P. R., Rasmussen, R. M., & Hall, W. D. (2008). Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Monthly Weather Review*, 136(12), 5095–5115. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2387.1>

Torrealba, E. R., & Amador, J. A. (2010). La corriente en chorro de bajo nivel sobre los Llanos Venezolanos de Sur América. *Revista de Climatología*, 10(July), 1–10.

Unidad Administrativa de Aeronáutica Civil. (2019). Boletín Estadístico diciembre 2019-Tráfico de Aeropuertos. [http://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/\\_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/Estadsticas operacionales/Estadísticas Trafico de Aeropuertos Diciembre 2019.xlsx](http://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/Estadsticas operacionales/Estadísticas Trafico de Aeropuertos Diciembre 2019.xlsx)

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Unidata/University Corporation for Atmospheric Research, National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, & European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. (2003). Historical Unidata Internet Data Distribution (IDD) Gridded Model Data. <http://rda.ucar.edu/datasets/ds335.0/>

Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emmanuel, C. B., Marengo, J., Meitin, J., Nicolini, M., Nogues-Paegle, J., Paegle, J., Penalba, O., Salio, P., Saulo, C., Silva Dias, M. A., Silva Dias, P., & Zipser, E. (2006). The South American low-level jet experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(1), 63–77. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-1-63>

Vernekar, A. D., Kirtman, B. P., & Fennessy, M. J. (2003). Low-level jets and their effects on the South American summer climate as simulated by the NCEP Eta Model. *Journal of Climate*, 16(2), 297–311. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0297:LLJATE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0297:LLJATE>2.0.CO;2)

Virji, H. (1981). A Preliminary Study of Summertime Tropospheric Circulation Patterns over South America Estimated from Cloud Winds. *Mon Weather Rev*, 109(3), 599–610. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0599:APSOST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0599:APSOST>2.0.CO;2)

Wang, H., Fu, R., Schemm, J. K., Tang, W., & Liu, W. T. (2008). Predictability of South American low-level jet using QuikSCAT ocean surface wind. *International Journal of Remote Sensing*, 29(21), 6117–6127. <https://doi.org/10.1080/01431160802175512>

Weaver, S. J., & Nigam, S. (2008). Variability of the Great Plains Low-Level Jet: Large-Scale Circulation Context and Hydroclimate Impacts. *Journal of Climate*, 21(7), 1532–1551. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1586.1>

Wei, W., Wu, B. G., Ye, X. X., Wang, H. X., & Zhang, H. S. (2013). Characteristics and Mechanisms of Low-Level Jets in the Yangtze River Delta of China. *Boundary-Layer Meteorology*, 149(3), 403–424. <https://doi.org/10.1007/s10546-013-9852-8>

Wexler, H. (1961). A Boundary Layer Interpretation of the Low-level Jet. *Tellus*, 13(3), 368–378. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1961.tb00098.x>

Whiteman, C. D., Bian, X., & Zhong, S. (1997). Low-Level Jet Climatology from Enhanced Rawinsonde Observations at a Site in the Southern Great Plains. *Journal of Applied Meteorology*, 36, 1363–1376.

Whyte, F. S., Taylor, M. A., Stephenson, T. S., & Campbell, J. D. (2008). Features of the Caribbean low level jet. *International Journal of Climatology*, 28(1), 119–128. <https://doi.org/10.1002/joc.1510>

Wu, Y., & Raman, S. (1993). The Great Plains Low-Level Jet (LLJ) During the Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Intensive Observation Period (IOP) - 4 and Simulations of Land Use Pattern Effect on the LLJ. 367–371.

Zhao, P., Sun, J., & Zhou, X. (2003). Mechanism of formation of low level jets in the South China Sea during spring and summer of 1998. *Chinese Science Bulletin*, 48(12), 1265–1270.

Tabla 21 Configuración básica del modelo WRF-ARW.

Proceso físicos y numéricos	Esquemas y modelo
Microfísica	Esquema de graupel Thompson (Thompson et al., 2008) Esquema de Modelo de Transferencia Radiativa Rápida para Modelos de Circulación Global GCM (RRTMG) (Iacono et al., 2008; Mlawer et al., 1997)
Radiación de onda larga	Esquema de onda corta RRTMG (Iacono et al., 2008; Mlawer et al., 1997)
Radiación de onda corta	Modelo NOAH de superficie terrestre (F. Chen & Dudhia, 2001)
Superficie terrestre	Esquema MYNN2 Mellor-Yamada Nakanishi y Nino Nivel 2,5 (Nakanishi & Nino, 2006)
Capa límite planetaria	Kain-Fritsch (Kain, 2004)
Parametrización de cúmulos	

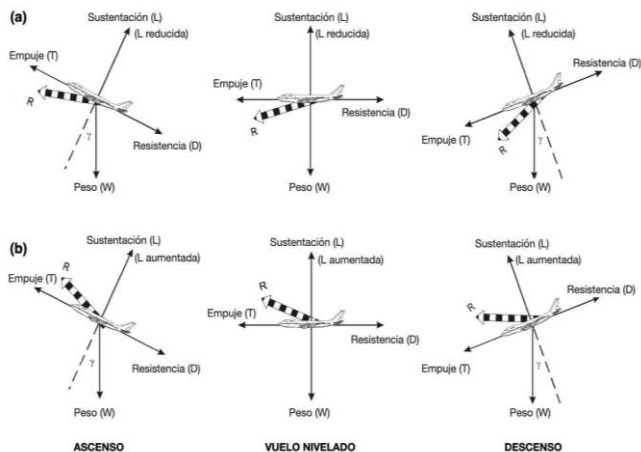


Ilustración 71 Vector de trayectoria de vuelo resultante (R) debido a la cizalladura del viento horizontal.

Nota. Durante las fases de ascenso, vuelo nivelado y descenso: (a) después de la disminución de la velocidad del aire debido al decrecimiento de la intensidad del viento de frente o aumento del viento de cola, (b) después del incremento de la velocidad del aire debido al aumento de la intensidad del viento de frente o disminución del viento de cola. Adaptada de International Civil Aviation Organization (2005).

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

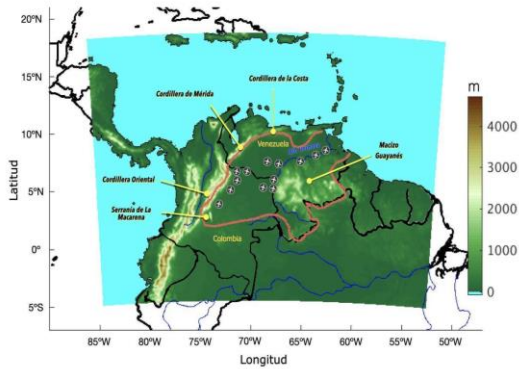


Ilustración 72 Mapa topográfico del norte de Suramérica.

Nota. El dominio del modelo numérico de predicción del tiempo Weather Research and Forecasting (WRF) corresponde al área en colores, la línea roja muestra los límites de la cuenca del Río Orinoco, y se indica la ubicación de los principales aeródromos a lo largo del corredor de la OLLJ. Adaptado de Jiménez-Sánchez et al. (2019).

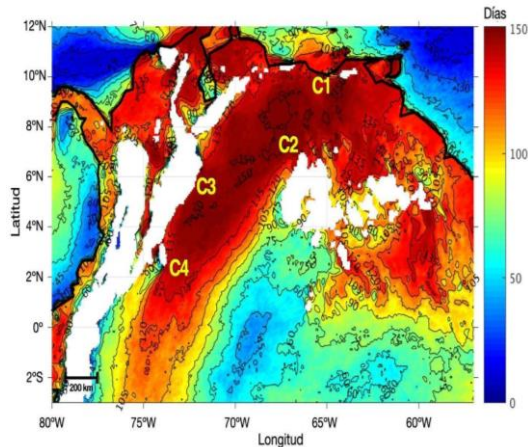


Ilustración 73 Frecuencia de ocurrencia de la OLLJ (Nov 2013–Mar 2014.

Nota. Los contornos indican el número de días dentro del periodo de estudio donde se identificó el cumplimiento de todos los criterios durante al menos 6 horas del día).

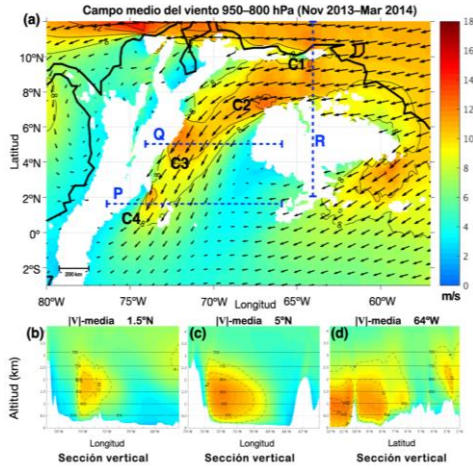


Ilustración 74 Caracterización horizontal y vertical del campo medio del viento de la OLLJ. Nota. (a) Vectores de velocidad e intensidad media del viento (en colores, m/s) en la capa de 950 a 800 hPa, y secciones verticales de la intensidad media del viento a los (b) 1,5°N, (c) 5°N y (d) 64°W. Las ubicaciones principales de los núcleos se indican en negrita (C1–C4) y los límites para cada sección vertical en (b)–(d) se muestran con líneas discontinuas azules (P, Q, R) en (a). El campo medio del viento se obtuvo promediando el vector de velocidad del viento para todas las horas a lo largo del periodo de estudio, y luego promediando su resultado para la capa entre 950 hPa y 800 hPa. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019).

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

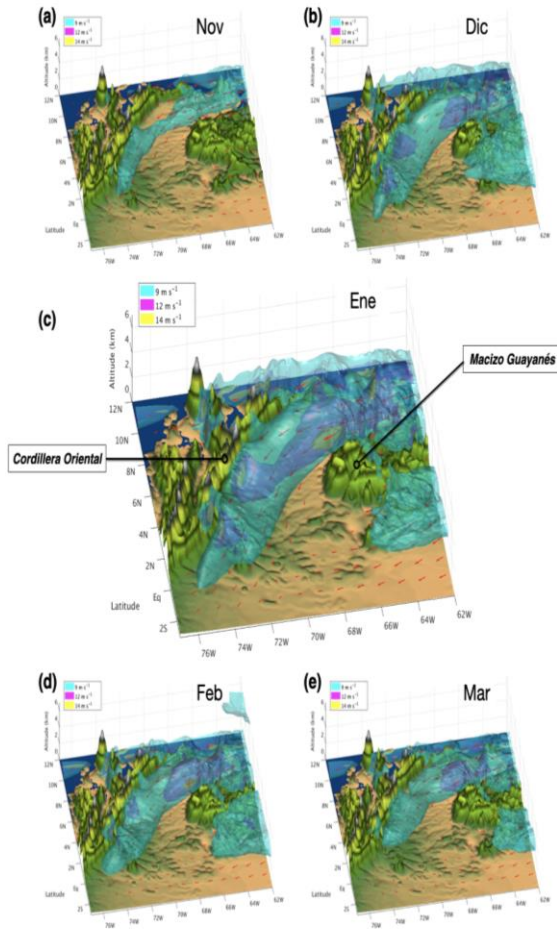


Ilustración 75 Comportamiento de la OLLJ durante el verano austral. Nota. Se muestra en 3-D la topografía del norte de Suramérica y la intensidad media mensual del viento en tubos de corriente de 9 m/s (azul claro), 12 m/s (magenta) y 14 m/s (amarillo) durante (a) noviembre, (b) diciembre, (c) enero, (d) febrero, y (e) marzo. Los vectores de viento a 900 m AGL se visualizan en rojo. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019).

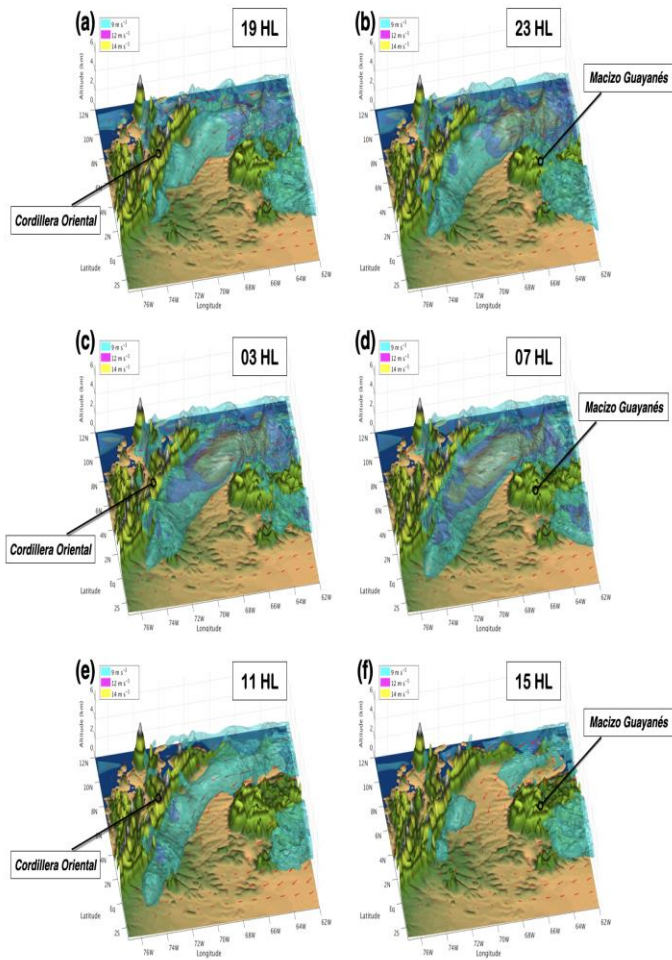


Ilustración 76 Evolución diurna de la OLLJ. Nota. Se muestra en 3-D la topografía del norte de Suramérica y la intensidad media horaria del viento (Nov 2013–Mar 2014) en tubos de corriente de 9 m/s (azul claro), 12 m/s (magenta) y 14 m/s (amarillo) a las (a) 1900 HL, (b) 2300 HL, (c) 0300 HL, (d) 0700 HL, (e) 1100 HL, y (f) 1500 HL. Los vectores de viento a 900 m AGL se visualizan en rojo. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2019).



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

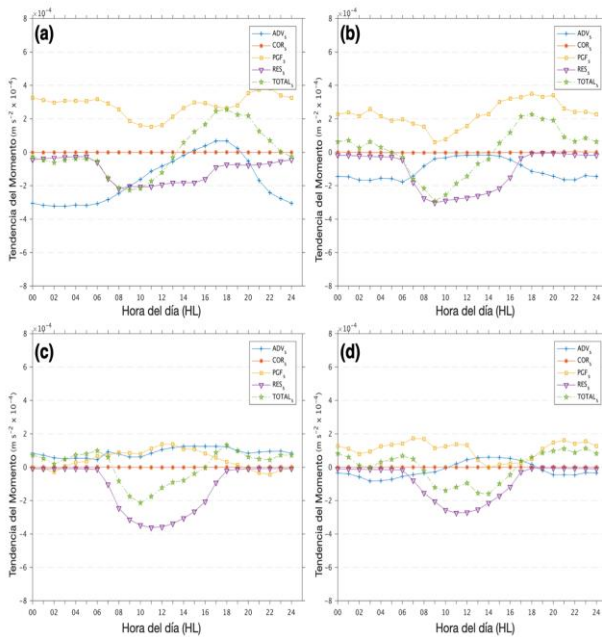


Ilustración 77 Ciclo diario de las componentes del balance de momento promedio en la dirección del flujo. Nota. Balance horario del momento en la capa de 950 a 800 hPa durante noviembre de 2013 a marzo de 2014, obtenido al promediar un área de  $45 \text{ km} \times 45 \text{ km}$  en la ubicación de la velocidad máxima del viento en el sentido del flujo a lo largo de (a)  $64^\circ\text{W}$  (C1), (b)  $66,9^\circ\text{W}$  (C2), (c)  $5^\circ\text{N}$  (C3) y (d)  $1,5^\circ\text{N}$  (C4).

Los términos de tendencia de la advección (cruces azules), de la fuerza de Coriolis (asteriscos rojos), del gradiente de presión (PGF; cuadrados amarillos), del residuo (triángulos morados) y de la tendencia total (estrellas verdes) están en  $\text{m/s}^2 \times 10^{-4}$ . Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2020)



Ilustración 78 Localización de los cuatro mecanismos causantes de la OLLJ.  
 Nota. Adaptada de Jiménez-Sánchez et al. (2020).

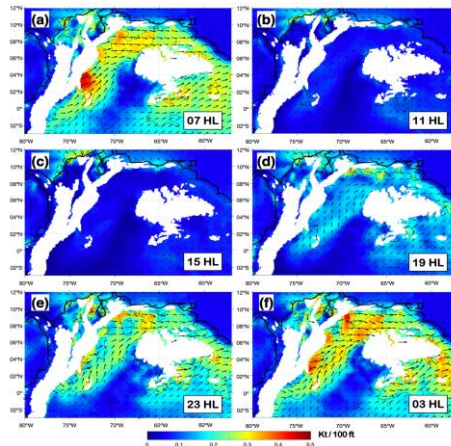


Ilustración 79 Ciclo diario de la cizalladura del viento promedio entre los 2.100 ft y los 300 ft AGL (Nov 2013-Mar 2014). Nota. Las flechas indican la dirección de la cizalladura resultante (vector) entre el viento horizontal a 2.100 ft y el viento horizontal a 300 ft a las a) 0700 HL, (b) 1100 HL, (c) 1500 HL, (d) 1900 HL, (e) 2300 HL, y (f) 0300 HL. En colores se muestra la tasa de cambio en la intensidad del viento en nudos por cada 100 pies (Kt/100 ft).

## Capítulo 9

# Revisión conceptual y diseño del instrumento de clima organizacional para la Fuerza Aérea Colombiana

Luz Giovanna Munar Casas<sup>15</sup>  
Lina María Rodríguez Gallego<sup>16</sup>,  
Alicia del Pilar Martínez Lobo<sup>17</sup>

“No hay nada más inútil que hacer eficientemente todo lo que no es necesario”.

Rensis Likert

## Resumen

El presente capítulo analiza el clima organizacional desde una visión sistémica y expone los resultados de la investigación y análisis para la comprensión conceptual y el diseño de la herramienta de medición de clima organizacional para la Fuerza Aérea Colombiana, en el marco de la investigación “Modelo Estratégico de Gestión Humana (MEGH), bajo un enfoque sistémico Fase I” INGENIUM 2030”.

---

<sup>15</sup>Teniente Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana; magíster en Educación, Desarrollo Humano, y psicóloga. CvLAC: <https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do>. correo Grupo GICMA.

<sup>16</sup>Mayor de la Fuerza Aérea Colombiana; magíster en Gestión Humana y psicóloga. Grupo GICMA. CvLAC: <https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do>. Correo, [lina.rodriguezg@fac.mil.co](mailto:lina.rodriguezg@fac.mil.co)

<sup>17</sup>Magíster en Investigación y Educación, y psicóloga. ORCID: <https://orcid.org/my-orcid->. CvLAC: <https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnRecursoHumano/inicio.do> Correo, [alicia.martinezlobo@gmail.com](mailto:alicia.martinezlobo@gmail.com) Fuerza Aérea Colombiana. Contratista Asesora. Grupo TESDA.

El desarrollo de esta investigación y la propuesta de medición se realizan en torno a la importancia que otorga la institución al clima laboral, entendiendo que este factor es clave para el desarrollo organizacional, su medición y diagnóstico permiten la intervención oportuna y pertinente que impacte directamente en la percepción de los funcionarios, la interacción entre persona-institución y en los factores específicos de esta; así, se facilita el cambio organizacional y se favorece la consolidación de la cultura, por ende, el cumplimiento de la misión de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

**Palabras clave:** clima organizacional, medición, diagnóstico, herramienta.

## Introducción

Las dinámicas organizacionales han venido transformadas la relación entre el empleado y la empresa; cada vez más el talento humano cobra mayor importancia en la organización, visto como el factor clave para el crecimiento y desarrollo de una empresa.

Las organizaciones han encontrado que cuanto mayor sea la satisfacción, la motivación y el compromiso de las personas, mejor es su rendimiento, lo que genera un vínculo de lealtad a la institución, con lo cual el empleado entrega más de sí mismo para el bienestar y mejoramiento de la empresa.

De esta forma, el concepto de bienestar cobra importancia en el contexto empresarial, incluso manteniendo una relación directa con el concepto de salud, el cual define la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”. (OMS, 2020). Así, las organizaciones con el fin de mejorar la relación con sus empleados y a la vez el desempeño de estos, buscan generar estados de bienestar en los entornos laborales, desde condiciones que mejoren el ambiente de trabajo, desde la premisa de que un ambiente laboral positivo o negativo puede afectar directamente la salud de los trabajadores. Así es como brindar ambientes favorables de trabajo mejora la salud, el bienestar y la calidad de vida de los empleados, a la vez que favorece el vínculo con la empresa, lo que mejora su compromiso y desempeño.

De esta manera, muchas organizaciones enfocan sus esfuerzos en la construcción de un buen clima organizacional, entendiendo que la organización es un entorno de convivencia social, de desarrollo profesional y personal, no solo un espacio de producción laboral. Generar un buen clima en la organización favorece la salud de los empleados, mejora el rendimiento incluso permite la supervivencia y el crecimiento de la empresa.

El clima organizacional es un concepto amplio, transversal y multidimensional, el cual ha sido analizado por múltiples autores y

diferentes miradas. En el presente capítulo, se exponen algunos conceptos del tema con el propósito de profundizar y realizar la descripción histórica y conceptual-teórica sobre el clima organizacional.

De igual forma, se revisan diferentes instrumentos para identificar los factores más importantes evaluados por diferentes autores y, por último, se plantea la conceptualización y el diseño del instrumento propio para las condiciones específicas de la Fuerza Aérea Colombiana.

## Referente teórico

El concepto de clima organizacional fue incorporado a través de la escuela clásica de administración con Frederick W. Taylor 1915, en Estados Unidos y el francés Henri Fayol, en 1925 (Arango Chávez et al., 2016 p. 2), quienes realizaron aportes significativos al clima organizacional a partir de la necesidad de posicionar la administración como una disciplina científica. En este sentido, se buscaba seleccionar al trabajador de tal manera que él fuera responsable de las actividades para las cuales estaba capacitado.

A Fayol (1925, citado por Arango Chávez et al., 2016, p. 2) “se le atribuye la evolución del pensamiento administrativo, centrado en la organización vista como una entidad productora de bienes o servicios”; además, fue quien contribuyó a las áreas funcionales de una organización, estableciendo 14 principios que una organización debe tener en cuenta, como la autoridad, las unidades de dirección, la subordinación, la disciplina, la división del trabajo, el orden, la jerarquía, una justa remuneración y la implementación del modelo del proceso administrativo (Arango Chávez, 2016, p. 2).

Hasta este punto, aún el concepto de clima organizacional no se tenía establecido, puesto que el modelo económico primaba en las investigaciones, se enfocaba en determinar la forma más eficiente de realizar una labor específica de manera repetitiva, con el fin de buscar más productividad, así como también motivar a los trabajadores mediante incentivos salariales, siendo la labor clave de los gerentes para hacer cumplir la estrategia de la organización.

En este sentido, Lewin, Lippitt y White, en 1935 (citados por Bustamante-Ubilla et al., 2018) desarrollaron gran interés por el contexto social y realizaron estudios experimentales sobre los estilos de liderazgo grupal, introduciendo el término de clima laboral como vínculo entre la persona y el ambiente; es decir, que según sean las conductas de los líderes, los grupos sociales se comportan de una forma determinada, lo que crea diferentes tipos de interacción laboral. A partir de este enfoque, los estudios de clima organizacional tomaron diversas direcciones metodológicas y conceptuales (Bustamante-Ubilla et al., 2018, p. 2).

Lewin Kurt, además de sus investigaciones, es uno de los pioneros de la psicología de la Gestalt, de donde surge el concepto de clima, en el que el comportamiento del individuo es influenciado por la forma como percibe su ambiente, se establece el término de “contexto social” en el clima laboral, como el conjunto de acciones de acciones e interacciones de las personas en un ambiente específico. Son entonces, estos estudios los que realmente influyen en el desarrollo de postulados que se mantienen en la actualidad (Bustamante-Ubilla et al., 2018, p. 2).

Posteriormente, en el siglo XX, para la década de los treinta, Elton Mayo, junto a Jackson y Slocum (citados por Arango Chávez et al., 2016), descubrió que la productividad de los trabajadores se ve influenciada por la interacción con los jefes y las condiciones ambientales. Asimismo, los autores mencionados consideraron que el punto focal en la acción administrativa es el comportamiento del ser humano; gracias a estos aportes, nace la escuela de las relaciones humanas, la cual se origina en la psicología y en la psicología social, para trascender a la administración. En este orden de ideas, el individuo es visto como un ser socio psicológico, por tanto, la organización se debe centrar en satisfacer las necesidades psicológicas del trabajador (Arango Chávez et al., 2016, p. 2).

En 1950 Weber (citado por Rodas Andrade y Alarcón Estévez, 2013), desarrolló la teoría de las estructuras de autoridad y expuso el modelo ideal de una organización caracterizado por la división o la asignación de labores, reglas o normas dentro de la organización; este autor también se centró en el concepto de hombre organizacional, es decir, como el hombre desempeña sus labores en la organización.

Sobre los años sesenta, la Universidad de Cornell avanzó en las investigaciones de clima laboral y sus estudios subrayan el sentido interpretativo o perceptivo, visto como una interpretación de los elementos constitutivos de la organización, como, el rol propio y el rol de los demás en el mismo ambiente. Por su parte, en 1962, Argyris profundizó en la teoría del comportamiento humano en las organizaciones, las cuales se constituyen para conseguir un objetivo o un fin, del cual nace una serie de necesidades y requerimientos, pero también el individuo que está en la organización ingresa con un tipo de necesidades personales que no coinciden con los de la organización, lo que genera una percepción negativa. En 1968, Litwin y Stringer (citados por Rodas Andrade y Alarcón Estévez, 2013, pp. 17-24) enfocaron sus estudios de clima en las personas, sus creencias, valores y motivaciones.

A partir de los años setenta, Gellerman (citado por Borda Martínez, 2016) introduce el término de clima organizacional, y lo define como el conjunto de características que describen una organización. Luego, McGregor enfocó sus investigaciones en el estudio organizacional directivo, el cual se determina por la manera como el jefe toma y representa las decisiones de los subordinados; esto señala que el clima es creado en gran parte por los directivos ya que estos influyen sobre el comportamiento de

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

los empleados y esto puede verse representado en su teoría X e Y (Borda Martínez, 2016).

Luego, Schneider (1972, citado por Rodas Andrade y Alarcón Estévez, 2013) relacionó el concepto de clima organizacional con la percepción de los individuos. Para 1973 los autores Pritchard y Karasick, enfocaron sus estudios en la satisfacción laboral de los empleados como eje central del clima organizacional; Gavin, 1975 investigó las variables que influyen sobre el clima organizacional; en 1990 Schneider, direccionó sus investigaciones y estudios del clima, en la estructura organizacional y el clima en relación sobre la objetividad y la percepción de los trabajadores. En 1976, Johnston propone una nueva conceptualización frente al clima organizacional y resalta que en las organizaciones existen diferentes tipos de clima, así como establece la existencia de un clima organizacional relacionado con la percepción del individuo y el rendimiento en el trabajo.

Para inicio de los años ochenta, Weisner (citado por García, 2009) propuso tres enfoques para resaltar la importancia de las organizaciones: (a) el clima como algo objetivo y medible, (b) la percepción como parte fundamental de la organización que permite una visión amplia y global, (c) el clima organizacional es un constructo que se mide de forma individual y desde la subjetividad.

En el inicio de los años ochenta, Weisner (citado por García, 2009) propuso tres enfoques para resaltar la importancia de las organizaciones: 1) el clima como algo objetivo y medible; 2) la percepción como parte fundamental de la organización, que permite una visión amplia y global, 3) el clima organizacional es un constructo que se mide de forma individual y desde la subjetividad.

A mediados de la misma década, autores como Ekvall (1986) conceptualizaron dos orientaciones teóricas diferentes con relación a clima organizacional, “una realista y objetiva, otra fenomenológica”. El enfoque realista evidencia lo observable, es inherente al contexto o entorno de la organización, la cual puede ser captada por los sentidos. “El clima es un atributo de la organización que existe independientemente de las percepciones y apercpciones de sus miembros” (Ekvall, 1986)

Así, desde el enfoque fenomenológico, el autor plantea que la percepción de clima organizacional parte de los contenidos de la conciencia, y determina si esas interpretaciones de los atributos de la organización son reales, ideales o imaginarios. “Lo que se estudia es la diferencia entre el clima psicológico de cada individuo y el clima organizacional como un todo, y el efecto de esta diferencia sobre las actitudes, sentimientos y conductas individuales en la organización” (Ekvall, 1986,).

Estas aproximaciones teóricas tienen sus diferencias en la conceptualización entre los investigadores, quienes parten de posturas ontológicas diferenciadas.

Así es como en esta década, se concibió al individuo como parte de la organización, donde sus emociones y estímulos, entre otras variables, van a influir frente a la percepción del clima organizacional. Del mismo modo, se

empezaron a analizar los estilos de cada trabajador, los estilos gerenciales y los efectos psicológicos que pueden impactar en la producción. Rensis Likert (1986, citado por Ramos, 2012) menciona que el estudio del clima laboral parte de la percepción que tenga el individuo en un ambiente, y que esta percepción influye en el comportamiento del individuo en la organización.

En los años noventa, se dio el auge de los estudios de clima organizacional y la importancia de definir conceptualmente este constructo. Inicialmente, los autores Forehand y Gilmer 1964 lo consideraron como un conjunto de características percibidas por los trabajadores frente a una organización y distinguirla de otras; luego, Tagiuri y Litwin (1968) definieron este constructo como la percepción que tienen los trabajadores de una organización, la cual va a influir en las actitudes y en la motivación frente a las labores que impone la organización (Arango Chávez, et al., 2016, p. 4).

Para ello, Mejía Echavarría (2019) cita en su artículo a Reichers y Schneider, quienes mencionan que el clima laboral son las percepciones compartidas por los miembros de una organización frente a las políticas, prácticas y procedimientos. Asimismo, Chiavenato y Peiró (1990) vincularon el clima organización con un nuevo constructo llamado cultura organizacional. Para 1996, Fernández y Sánchez, enfatizaron que el clima organizacional se sitúa en los principios de la psicología cognitiva (Mejía Cavarría, 2019, pp. 171-173).

No obstante, algunos autores como, Taylor, Frederick Herzberg mencionan que las teorías conductistas fueron esenciales para explicar la conducta de los individuos en las organizaciones. De igual manera, fue fundamental entender que el comportamiento humano estaba ligado a la motivación humana, teoría referente a la de Abraham Maslow y a las teorías contribuyentes de los sistemas de administración de Likert (Mejía Echavarría, 2019, pág. 172).

Para el siglo XXI, a partir de 2000, se concibe el clima como perceptible, influenciado por conductas y valores en función de los individuos. En la actualidad, las organizaciones están enfocadas en pro de la productividad en función del clima organizacional. Así, autores como Blader et al. (2017), citados por Mejía Echavarría (2019) afirman que las organizaciones están en pro de la construcción de la identificación organizacional, fundamentado esto en las relaciones de trabajo entre el empleado y la organización, lo que permitirá mejorar el desempeño laboral, la productividad y la innovación (Mejía Cavarría, 2019, p. 174).

## **Dimensiones del clima laboral**

Las dimensiones del clima organizacional son determinantes conductuales propios de la organización; estas permiten realizar un diagnóstico de forma interna y de manera profunda en la organización,



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

aunque cada institución es única y diferente. Autores como Campo y Daza (2016) al citar a Likert, Brunet, Moos Stringer, proponen un conjunto de dimensiones que se pueden identificar en las organizaciones.

Para Litwin y Stinger (1966) existen nueve dimensiones que conforman el clima organizacional: a) estructura;(b) responsabilidad; c) recompensa; d) desafío; e) relaciones; f) cooperación; g) estándares; h) conflicto, e i) identidad. Por otro lado, Likert (1968) propone ocho dimensiones: a) los métodos al mando; b) características de las fuerza motivacionales; c) características de los procesos de comunicación; d) características de los procesos de influencia; e) características de los procesos de toma de decisiones; f) características de los procesos de planeación; g) características de los procesos de control, y h) objetivos de rendimiento y de perfeccionamiento, mientras que Pritchard y Karasick (1973) establecen once dimensiones: a) autonomía; b) conflicto y cooperación; c) relaciones sociales; d) estructura; e) remuneración; f) rendimiento;(g) motivación; h) estatus; i) flexibilidad e innovación; j) centralización de la toma de decisiones, y, k) apoyo (citados por García Ramírez e Ibarra Velásquez, 2009).

En la actualidad, cada organización es autónoma para establecer las dimensiones pertinentes respecto a la medición de clima organizacional.

Dentro de los antecedentes más importantes de los instrumentos y las dimensiones evaluadas en clima organizacional se encuentran los planteados por Brunet (1987), Silva (1992), Santana y Cabrera (2006), Méndez (2006), Toro (2009) (citados por Vega et al., 2012).

Tabla 22 Instrumentos y evaluaciones clima organizacional. Elaborado por Vega (2012).

Autor	Objetivo del instrumento	Variables que mide el instrumento
Lirvin y Stinger (1966)	Evaluar las diferentes situaciones de los individuos, respecto a sus motivaciones, las estructuras de poder y afiliación	Estructura organizacional Recompensa Apoyo Riesgo Responsabilidad Normas Conflicto
Schneider y Bartlett (1968)	Medición del clima organizacional en los puestos directivos en las agencias de seguros de vida	Apoyo al empleado Interés por los nuevos empleados Independencia de los agentes Estructura organizacional Satisfacción
Friedlander y Margulies (1969)	Evaluar y medir el clima organizacional, como lo valores organizacionales	Empañeo Obstáculos Intimidad Espíritu de trabajo Actitud Confianza Consideración
Pritchard y Karasick (1973)	Relación del clima organizacional: Resultado de las unidades funcionales y la satisfacción de los individuos	Autonomía Relaciones sociales Conflicto y contra la cooperación Estructura organizacional Relación entre labores y remuneración Estrés Flexibilidad Apoyo Centralización
Moos (1974)	Instrumento de medición para cualquier empresa u organización.	Implicación Apoyo Tarea Cohesión Autonomía Claridad Presión Innovación Control Confort Calidez Toma de decisiones Riesgo Apertura Estructura Recompensa
Downey, Hell Riegel, Phelps y Stocum (1974)	Evaluación de la influencia del clima organizacional en la satisfacción individual y la ejecución de la tarea.	Estructura Recompensa Estructura organizacional Obstáculo
Garvin (1973)	Evaluar la relación entre la percepción del ambiente laboral y los índices de bienestar psicológico y de salud.	Confianza entre compañeros de labor Consideración por parte de los administrativos y jefes Riesgos de la labor Desafíos de la labor
Sims y Lafollette (1975)	Medición y evaluación de la relación entre el clima organizacional y la satisfacción.	Presión del trabajo Dirección y organización Riesgo en la toma de decisiones Apertura de la comunicación Tono de afecto hacia colaborador y vi de colaborador hacia dirección dentro de la organización.
Méndez (2000)	Instrumento clima organizacional para las diversidades en el sector productivo colombiano.	Cooperación Liderazgo Objetivos organizacionales Toma de decisiones Control Motivación Relaciones interpersonales
Toro (2009)	Instrumento clima organizacional para las organizaciones de servicios o del sector privado a nivel Latinoamericana.	Trato interpersonal Apoyo por parte del jefe Sentido de pertenencia Retribución Disponibilidad de recursos Estabilidad Claridad organizacional Valores colectivos Disposición al esfuerzo

De igual forma, se encuentran aportes importantes de Alcalá (2011, citado por Rivera Porrás et al., (2018), quien establece nueve dimensiones para evaluar: estructura, responsabilidad, recompensa, riesgos, relaciones, cooperación, estándares de desempeño, conflictos e identidad.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Otro de los modelos importantes es el del profesor de la Universidad del Valle Hernán Álvarez Londoño (citado por García Ramírez e Ibarra Velásquez), quien plantea las siguientes dimensiones como determinantes para la evaluación del clima organizacional: claridad organizacional, estructura organizacional, participación, instalaciones, comportamiento sistémico, relación simbiótica, liderazgo, consenso, trabajo gratificante, desarrollo personal, elementos de trabajo, relaciones interpersonales, buen servicio, solución de conflictos, expresión informal positiva, estabilidad laboral, valoración, salario, agilidad, evaluación del desempeño, retroalimentación, selección de personal, inducción e imagen de la organización (García Solarte, 2009).

Continuando con la revisión, se encuentran herramientas estructuradas por diferentes organizaciones consultoras que combinan el enfoque realista y fenomenológico (Mercer, 2008; Korn Ferry, 2017), citados por Simón Fernández (2019), con las cuales buscan identificar los factores más relevantes para ser intervenidos en las organizaciones de una manera más asertiva; entre ellos se encuentran:

Tabla 23 Tipo de herramientas. Fuente: elaboración propia

Mercer 2008	Korn Ferry	Great Place to Work
Compromiso, beneficios, entorno del trabajo, comunicación, etcétera.	Compromiso: Calidad y orientación al cliente, claridad y direccionamiento, confianza en los líderes, cultura, oportunidades de desarrollo, remuneración, respeto y reconocimiento.	Confianza: credibilidad, respeto e imparcialidad.
Valores laborales.	Soporte para el éxito: autonomía, colaboración, entrenamiento, estructura y procesos, gestión del desempeño, innovación, recursos.	Comaradería
Subculturas organizacionales		Orgullo

## Clima organizacional en la Fuerza Aérea Colombiana

De acuerdo con la Carta Iberoamericana de la Función Pública (2003), “Los sistemas de función pública deberán incorporar las reglas y políticas necesarias para garantizar los derechos de los empleados públicos en materia de salud laboral y seguridad en el trabajo”. Con relación a los empleadores públicos, estos “deberán ocuparse de conocer el clima laboral de sus organizaciones, evaluando periódicamente y teniendo en cuenta estas evaluaciones para la revisión y mejora de sus políticas y prácticas de gestión de las personas” (p. 23).

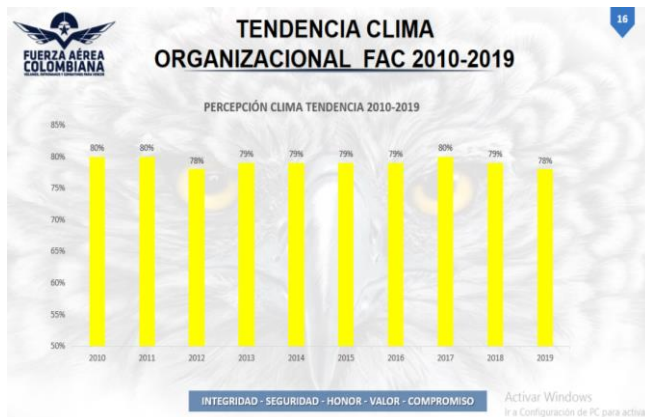
De esta manera, se plasma la importancia que tiene la medición y la intervención del clima organizacional para la función pública en Iberoamérica. Del mismo modo,

el Departamento Administrativo de la Función Pública de Colombia (DAFP) plantea que el clima organizacional se refiere a "la forma como los servidores públicos perciben su relación con el ambiente de trabajo como determinante de su comportamiento al interior de la entidad", ". (Función Pública, 2020) y define el clima organizacional como "el conjunto de percepciones y sentimientos compartidos que los funcionarios desarrollan en relación con las características de su entidad". También explica la importancia de realizar mediciones periódicamente para poder determinar cómo el ambiente organizacional influye directamente en el comportamiento de los funcionarios y, de esta forma, poder establecer estrategias o planes de acción (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2005, p. 27).

La Fuerza Aérea Colombiana, desde 2011, planteó en el Plan Estratégico Institucional 2011-2030, como objetivo estratégico: "Mejorar el clima organizacional, a través del impulso al desarrollo humano, científico, tecnológico y cultural, para ser líder en el ámbito aeroespacial nacional" (p. 54), a partir de allí, la FAC ha realizado una serie de mediciones e intervenciones para mejorar y favorecer el clima organizacional, y así generar condiciones que permitan el crecimiento personal y profesional de los funcionarios.

Por esta razón, es importante entender que este proceso es flexible y dinámico, las mediciones deben estar acordes al entorno interno y externo; por tanto, es importante realizar revisiones, actualizaciones que permitan identificar los factores más importantes de la organización que requieren ser impactados, lo que permite una construcción permanente del clima organizacional.

Así es como, a partir de las mediciones elaboradas en la FAC (Figura 1), la revisión de la misión, estrategia institucional y la transformación de la estructura organizacional, se realizó un proceso de revisión, ajuste, y diseño de la herramienta de clima organizacional, acorde con las necesidades de la Fuerza.



## **Presentación resultados de clima organizacional 2019**

De acuerdo con lo evidenciado en las mediciones desde 2010 hasta 2019, se encuentra una tendencia estática del clima organizacional en la Fuerza, y se encuentran fortalezas en orientación organizacional, capacidad profesional y trabajo en equipo, y necesidades de desarrollo, especialmente en gestión del talento humano, liderazgo y medio ambiente físico de trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Fuerza Aérea Colombiana consideró la importancia de la revisión conceptual y de la herramienta desde un enfoque sistémico que permita identificar la interacción entre la persona, la organización y su entorno.

De esta forma, el clima organizacional se despliega desde la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042, en la que se plantea como un objetivo estratégico: “Incorporar, fidelizar y promover el desarrollo y desempeño del talento humano: contar con talento humano suficiente, competente y motivado, que sea el soporte fundamental para el desarrollo de los procesos y el cumplimiento de los objetivos institucionales” (p. 78). Desde esta premisa, a través del Comando de Personal - Jefatura de Potencial Humana, se ha establecido la medición de clima organizacional, para identificar aspectos críticos y generar acciones de impacto que apunten al fortalecimiento del clima organizacional de la institución.

## **Metodología**

Para el desarrollo del componente clima organizacional, uno de los seis planteados para la conceptualización teórica del proyecto “Modelo Estratégico de Gestión Humana (MEGH), bajo un enfoque sistémico Fase I” (INGENIUM 2030) se realizó en tres etapas principalmente: la primera consistió en una investigación documental, a través de la revisión teórica de investigaciones científicas tomadas de diferentes bases de datos especializadas, artículos de revista, libros y trabajos de tesis de pregrado y posgrado relacionados con este tema.

La metodología que se utilizó para la revisión de la literatura se enfocó en la propuesta por Hernández Sampieri et al. (2014), la cual “implica

detectar, consultar y obtener la bibliografía (referencias) y otros materiales que sean útiles para los propósitos del estudio, de donde se tiene que extraer y recopilar la información relevante y necesaria para enmarcar nuestro problema de investigación” (p. 94). Para la construcción del marco teórico, se revisó la evolución del concepto de clima organizacional y sus enfoques, según diferentes autores durante las décadas del siglo XX al XXI.

Con el fin de diseñar el instrumento para la medición del clima organizacional en la FAC, en la etapa dos se realizaron actividades que permitieran comprender el concepto de clima e identificar las variables que requieren ser medidas e intervenidas en la institución (ver figura 2).

Después tener el diseño de la herramienta, se inició la etapa tres, correspondiente a la validación de las actividades planteadas.



Ilustración 81 Esquema metodológico componente conceptual clima organizacional. Fuente: elaboración propia.

El contexto del siguiente estudio se enmarca en el sector público, específicamente de la Fuerza Aérea Colombiana, y orienta a la población de la institución, personal al militar, a oficiales, suboficiales y personal civil.

## Resultados

Para el estudio de los resultados del componente clima organizacional, se presenta por cada una de las etapas el análisis y la reflexión conceptual resultado del estudio

### **Etapas 1. Revisión documental**

## **Comprensión conceptual de clima organizacional para la FAC.**

Para estructurar un instrumento de medición válido para la Fuerza Aérea Colombiana, que permita identificar la favorabilidad de clima, se requiere establecer un modelo que incorpore los conceptos de clima relevantes para la Fuerza, con el fin de medirlos, analizarlos e interpretarlos desde el marco del modelo conceptual adecuado y, de esta forma, identificar actividades estratégicas que aporten a la movilidad de las variables, y así favorecerla percepción del clima organizacional de la institución.

De esta manera, para la comprensión del clima organizacional de la FAC, se toma como referencia el enfoque sistémico. De acuerdo con lo planteado por Hawthorne (1994, citado por Segredo Pérez, 2016) “Las organizaciones se definen como sistemas abiertos cuyas partes están relacionadas entre sí y con su medio ambiente. La naturaleza de esta relación es de interdependencia debido a que todas las partes del sistema afectan y son afectados mutuamente. Es decir, un cambio en una parte del sistema (subsistema) afectará a otras partes del sistema” (p. 591).

Así, pues, el clima organizacional se entiende como una interacción de factores que determinan un estado dentro de la organización.

Teniendo en cuenta el marco teórico acerca del clima organizacional revisado, se pueden identificar dos grandes enfoques que explican y orientan este tema: el enfoque realista, en el cual el clima es un atributo de la organización, y el enfoque fenomenológico, que trata de un atributo que el individuo asigna a la organización (Ekvall, 1986, pp. 95-113).

Hay otros enfoques como los siguientes:

- Enfoque centrado en la percepción de los trabajadores. Limita la percepción del clima a las opiniones, ideas y actitudes de los trabajadores.
- Enfoque centrado en los atributos organizacionales.
- Enfoque de la percepción de los atributos organizacionales

La Fuerza Aérea Colombiana tiene una visión mixta, por tanto, el clima organizacional no es lineal, sino dinámico y flexible; está construido en la interacción entre los factores estructurales de la organización, del entorno laboral próximo en el que se desarrolla el trabajador y las condiciones propias de este último. En este orden de ideas, esos factores interactúan e influyen mutuamente uno en otro, lo que afecta el comportamiento de los individuos e impacta el desempeño de los trabajadores, así como el crecimiento y la supervivencia de la organización. La figura 3 esquematiza la interacción de la tríada, contexto, organización, individuo.



Ilustración 82 Esquema de interacción factores influyentes del clima organizacional. Fuente: elaboración propia.

Desde esta revisión conceptual, desde los antecedentes de la institución y los enfoques predominantes, se puede decir que en el caso de la Fuerza Aérea Colombiana se entiende el clima organizacional como el conjunto de percepciones y sentimientos compartidos que tienen los funcionarios, que se generan a partir de la interacción entre la persona, las condiciones de la organización y el entorno laboral; aspectos que la distinguen de otras entidades que influyen en el comportamiento, desempeño individual y colectivo de los miembros de la institución (Fuerza Aérea Colombiana, 2011).

Entendiendo de esta manera el clima organizacional en la FAC dentro del proceso investigativo, esta definió tres sistemas: el individual, el organizacional y sistema el interpersonal.

## **Revisión de dimensiones por medir en clima organizacional**

Con el fin de identificar las dimensiones más importantes, se tomó como referente la revisión de autores, consultoras y documentación de la Fuerza (instrumento de medición adaptado de la función pública y del Ejercicio Programa de Revisión Estratégica Institucional (PREI, 2016), y se analizó cada una de las dimensiones, como se muestra en la tabla 25.



## Fase 2. Diseño de la herramienta

### *Identificación de posibles variables*

De acuerdo con la anterior revisión, se establecieron las dimensiones que se muestran en la tabla 24 como las más importantes para evaluar dentro del proceso de identificación de aspectos en el desarrollo del diseño de la herramienta para la FAC. En este ejercicio, se agruparon las dimensiones de acuerdo con las temáticas y los subdimensiones teniendo en cuenta las categorías que se encuentran asociadas a estas.

Tabla 24 Dimensiones del clima organizacional según autores. Fuente. Elaboración Propia.

Dimensiones autores y consultoras	Dimensiones documentación FAC
Capacitación y desarrollo	Orientación organizacional
Calidad de vida	Liderazgo
Estabilidad	Impacto del comandante
Compensación	Comunicación e integración
Beneficios	Trabajo en equipo
Reconocimientos	Capacidad profesional
Participación	Administración del talento humano
Toma de decisiones	Medio ambiente físico
Trabajo en equipo	Bienestar
Cooperación	Proyección institucional y movilidad
Condiciones de trabajo	Organización y estructura interna
Innovación	Liderazgo
Organizacional de trabajo	Reconocimiento y compensación
Competencias del jefe inmediato	Gestión del desempeño
Liderazgo	Recursos físicos e intencional
Gestión del desempeño	Capacitación/entrenamiento
Consenso	
Desarrollo personal	
Relaciones interpersonales	
Valoración	
Agilidad	
Evaluación de desempeño	
Retroalimentación	
Responsabilidad	
Estándares	
Conflicto	
Identidad	
Métodos de mando	
Comunicación	
Autonomía	
Credibilidad	
Respeto	
Imparcialidad	
Confianza en los líderes	
Satisfacción	
Empiezo	
Confianza	
Cohesión	
Claridad	
Disponibilidad de recursos	
Ebalance tiempo personal /laboral	
Trato interpersonal	
Gestión del talento humano	
Distribución de carga laboral	
Sentido de realización	
Programas de retención	
Diversidad e inclusión	

## Etapa 2. Diseño de la herramienta

Gracias a la anterior revisión, se establecieron las dimensiones que se muestran en la tabla 26 como las más importantes para evaluar dentro del proceso de identificación de aspectos en el proceso del diseño de la herramienta para la FAC. Para este ejercicio, se agruparon las dimensiones de acuerdo con las temáticas, y de esta manera se determinaron las dimensiones, subdimensiones y categorías que se encuentran asociadas a estas.

Tabla 25 Categorización de las dimensiones. Fuente: elaboración propia.

Dimensión	N.º	Subdimensión
Liderazgo	1	Capacidad de liderar
	2	Capacidad de inspirar
	3	Credibilidad
	4	Imparcialidad y equidad
	5	Unidad de mando
	6	Autonomía en la toma de decisiones (trabajador)
Liderazgo gerencial	7	Confianza
	8	Inspira una visión compartida
	9	Evaluación
Gestión del desempeño	10	Desarrollo y capacitación
	11	Autodesarrollo
	12	Desarrollo de carrera
	13	Reconocimiento
Orgullo (sentido de pertenencia)	14	Orgullo por mi trabajo
	15	Orgullo por la FAC
	16	Orgullo por mi equipo de trabajo
	17	Excelencia del desempeño y las competencias (claridad del rol)
Gestión del talento humano	18	Direccionamiento y administración del talento humano
Diversidad e inclusión	19	Fidelización
	20	Diversidad e inclusión
	21	Satisfacción laboral en el trabajo
Felicidad en el trabajo	22	Balance tiempo personal/laboral
	23	Recursos y soporte al cargo
	24	Autorealización
	25	Calidad y eficiencia
Trabajo en equipo	26	Cohesión y relaciones laborales
	27	Confianza y comunicación
Aprendizaje organizacional	28	Generación de conocimiento
	29	Innovación
Comunicación	30	Claridad y oportunidad de la información
	31	Comunicación estratégica efectiva

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## **Aplicación matriz de impactos cruzados - multiplicación aplicada a una clasificación**

Con el fin de identificar las dimensiones y subdimensiones que podrían generar mayor impacto al sistema organizacional de la Fuerza, se aplicó la herramienta matriz de impactos cruzados - multiplicación aplicada a una clasificación (MIC-MAC), la cual es parte del análisis estructural que es “el método cualitativo de la prospectiva y lo pudiéramos definir como una reflexión colectiva relacionando diferentes elementos de un sistema con la perspectiva de provocar el cambio en el futuro. La prospectiva posee herramientas metodológicas que facilitan y sistematizan la reflexión colectiva sobre el futuro y la construcción de imágenes o escenarios de futuro” (Garza Villegas y Cortez Alejandro, 2011).

La matriz de impactos cruzados - multiplicación aplicada (MIC-MAC) “permite, a partir de una lista de variables estructurales y una matriz que representa las influencias directas entre las variables, extraer e identificar las variables claves del problema estudiado, con la ayuda de cuadros y gráficos que permiten la modelización del problema a abordar” (véase: [www.prospectiva.eu/zaharra/Micmac](http://www.prospectiva.eu/zaharra/Micmac), 2020).

De esta manera, se aplicó la metodología con los siguientes pasos:

- Selección de panel de expertos.
- Análisis de las variables a evaluar y su definición.
- Calificación por parte de los expertos.
- Aplicación de la herramienta.
- Identificación de las variables claves.

Con respecto a la selección de expertos se identificó personal de la institución que cuenta con conocimientos en la gestión del talento humano, con experiencia de más de cinco años en la institución y con un pensamiento crítico que permitiera el adecuado análisis y la identificación de las variables más importantes que impactarán en el clima organizacional. De esta manera, se realizó la evaluación de las variables de manera cruzada, dando un valor de 0 a 3 de acuerdo con la influencia que una variable tiene sobre la otra.

Así es como se obtiene el plano de influencia y dependencia de la investigación, identificando los subdimensiones que se encuentran en el cuadrante superior derecho de la figura 4, más próximas a la diagonal, denominada: variables claves

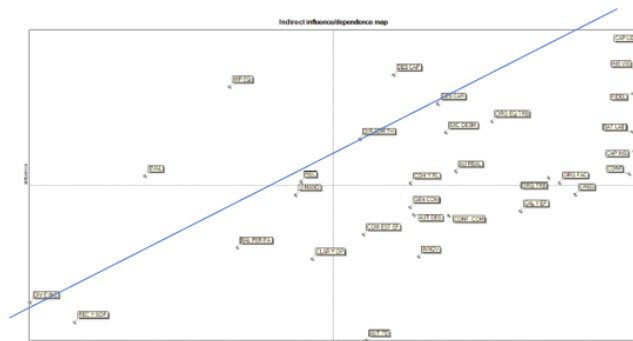


Ilustración 83 Matriz de influencia y dependencia MIC-MAC. Fuente: programa MIC-MAC.

## Definición de sistemas, dimensiones, indicadores e ítems

Con la información analizada de la herramienta MIC-MAC se definen las variables más importantes y se agrupan en dimensiones, como se muestra en la tabla 27.

Tabla 26 Dimensión de las variables. Fuente: elaboración propia.

N.º	Subdimensión	Abv.	Definición	Dimensión
1	Capacidad de liderar	Cap. Lid.	Competencias que tiene un comandante para influir, generar cohesión y sinergia en su grupo de trabajo para lograr un objetivo.	Liderazgo
8	Inspirar una visión compartida	Ins. vis.	Capacidad que tiene el líder para transmitir e inspirar en los subalternos sentido en los objetivos institucionales, logrando compromiso y sentido de pertenencia de los integrantes de la institución hacia un fin común.	Liderazgo gerencial
19	Fidelización	Fidel.	Estrategias establecidas por la institución para atraer y lograr la permanencia de los altos potenciales y funcionarios con desempeño sobresaliente.	Gestión del talento humano
12	Desarrollo de carrera	Des. car.	Políticas, procedimientos y prácticas organizacionales que permiten o facilitan que los miembros de la organización den cumplimiento a una secuencia de actividades y eventos relacionados con su carrera para obtener logros profesionales, crecimiento y autorrealización.	Gestión del desempeño
18	Dirigir y administrar el talento humano	Dir. adm. th.	Directrices, lineamientos y actividades que establece la institución para organizar, dirigir y controlar el talento humano.	Gestión del talento humano
24	Auto-realización	Au. real.	Percepción que tienen los funcionarios con respecto al desarrollo de su potencial, al crecimiento y la auto superación permanente a nivel profesional y laboral dentro de la institución.	Felicidad en el trabajo
17	Excelencia del desempeño y las competencias (claridad del rol)	Exc. desm.	Políticas, prácticas y mecanismos institucionales que favorecen el desarrollo de las competencias de los funcionarios y promueven el rendimiento superior en el trabajo.	Gestión del talento humano
16	Orgullo por mi equipo de trabajo	Org. eq. trb.	Sentimiento de valoración y satisfacción por el trabajo realizado por mi equipo/oficina.	Orgullo (sentido de pertenencia)
10	Desarrollo y capacitación	Des. cap.	Proceso por el cual se busca que la persona obtenga las competencias para desempeñarse de forma adecuada en un cargo.	Gestión del desempeño
26	Cohesión y relaciones laborales	Coh. y rl.	Relación estrecha entre los miembros del equipo caracterizada por la unidad, colaboración, compañerismo y armonía, la cual permite el cumplimiento de los objetivos con alta calidad.	Trabajo en equipo

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Con base en la selección de variables, se realizó el análisis por medio de tres sistemas: a) sistema interpersonal; b) sistema individual, y c) sistema organizacional (Uribe, 2015, citado por Solís, 2019), lo que permitió identificar las necesidades internas y externas de la institución que determinan las condiciones objetivas del trabajo y los procesos organizacionales; de esta manera, el clima organizacional FAC podrá identificar factores de riesgo psicosocial y el impacto en las personas vinculadas a la institución (Solís, 2019).

### Sistema interpersonal

Son variables que establecen el nivel de equilibrio entre las interacciones sociales y las condiciones del ambiente encaminadas a generar efectividad y mejora en el trabajo.

### Sistema individual

Estas variables miden el balance entre las expectativas de los funcionarios y la satisfacción de los beneficios recibidos por el trabajo.

### Sistema organizacional

Variables estructurales de soporte organizacional requeridas para el buen funcionamiento de la operación y la seguridad en el trabajo.



Ilustración 84 Sistema de análisis del Clima organizacional de la FAC. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la definición de sistemas, dimensiones y subdimensiones, se realiza la identificación de indicadores e ítems que van a ser utilizados en la herramienta de clima organizacional de la FAC.

De manera que, se establecieron 44 indicadores además de 96 preguntas específicas de la medición y 5 preguntas de validación.

### Fase 3: Análisis de las propiedades métricas del instrumento

Uno de los aspectos fundamentales en el proceso de construcción de un instrumento de medida es garantizar que cuente con las condiciones necesarias de confiabilidad y validez, con ello se asegura la calidad en las inferencias e interpretaciones que se hagan con este.

En este apartado se detallan los procedimientos y resultados correspondientes a las propiedades psicométricas del cuestionario de clima organizacional en una muestra de la población de la Fuerza Aérea Colombiana. Para esto, se analizaron los componentes específicos de instrumento, es decir, ítems y variables, así como para la prueba completa.

La tabla 28 resume los procedimientos utilizados para evaluar los indicadores de confiabilidad y validez del instrumento.

Tabla 27 Evaluación de indicadores de confiabilidad y validez. Fuente: elaboración propia.

Propiedad	Alcance	Objetivo	Procedimiento
Validez de contenido	Test completo	Análisis de las condiciones de construcción de los ítems y su nivel de representatividad del atributo medido.	Revisión por etapas de los ítems y estimación de los índices de concordancia entre jueces.
Confiabilidad	Test completo	Estimar la consistencia interna o grado en que todos los ítems en conjunto miden el atributo o variable a la cual pertenecen.	Coefficiente alfa ordinal.
Confiabilidad	Test completo	Estimar la consistencia interna en la medición del clima a partir de todas las variables incluidas en el instrumento.	Coefficiente de consistencia global.
Validez en términos de discriminación	Ítem	Evaluar si el ítem separa o discrimina entre los sujetos que presentan alto y bajo nivel de atributo.	Índice de discriminación del ítem.
Confiabilidad	Ítem	Estimar la precisión con la que el ítem mide el atributo.	Índice de fiabilidad (IF).

## Validez de contenido

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de un instrumento es asegurar que los ítems que lo componen sean una muestra relevante y representativa de los constructos incluidos, es decir, las variables que se pretenden medir.

Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció un procedimiento por medio de equipos de expertos, el cual buscaba que a través de su juicio se valoraran las condiciones de los ítems y con ello se pudieran tomar decisiones de mantener, modificar o excluir los componentes de cada variable, hasta llegar a una versión final del instrumento.

Los pasos que se siguieron se presentan a continuación:

- a) Especificar el objetivo de la prueba.
- b) Explicitar tanto las dimensiones como los indicadores que se busca medir con los ítems.
- c) Elaboración de una versión preliminar de los ítems para cada variable (a cargo del coordinador del proyecto y el asesor externo).
- d) Definir los criterios de revisión de los ítems con base en su pertenencia, relevancia y aspectos de forma.
- e) Diseño de planillas para recoger las valoraciones de los jueces.
- f) Definir el objetivo del juicio de expertos.
- g) Selección de los jueces.
- h) Calcular la concordancia entre jueces.
- i) Elaboración de las conclusiones del juicio.
- j) Modificar los ítems cuyos valores de consistencia entre jueces sugerían la necesidad de revisión.

Esta validación se realiza con personal de oficiales psicólogos de la Fuerza Aérea Colombiana, de acuerdo con los criterios de evaluación de cada uno de los ítems.

Tabla 28 Criterios de evaluación. Fuente: elaboración propia.

Categoría	Calificación	Indicador
<b>Suficiencia</b> Los ítems que pertenecen a una misma dimensión hasta obtener la medición de esta.	No cumple con el criterio. Bajo nivel. Moderado nivel Alto nivel.	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión. Los ítems miden algún aspecto de la dimensión, pero no corresponden con la dimensión total. Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente. Los ítems son suficientes.
<b>Claridad</b> El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	No cumple con el criterio. Bajo nivel. Moderado nivel. Alto nivel.	El ítem no es claro. El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras, de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas. Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem. El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada
<b>COHERENCIA</b> El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo	No cumple con el criterio. Bajo nivel. Moderado nivel. Alto nivel.	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión. El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión. El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo. El ítem se encuentra completamente relacionada con la dimensión que está midiendo
<b>RELEVANCIA</b> El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido.	No cumple con el criterio. 2 Bajo Nivel. Moderado nivel Alto nivel	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión. El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide este. El ítem es relativamente importante. El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

Acorde con estos criterios, los jueces evaluaron cada uno de los indicadores e ítems. En la tabla 30, se resume el conjunto de índices de coincidencia para los 101 ítems de la primera versión del instrumento.

Tabla 29 Evaluación de expertos. Fuente: elaboración propia.

Resultado del análisis	N.º de ítems	% de concidencia entre jueces
Aceptados sin modificaciones	82	81
Para revisar	17	17
Para reemplazar	1	1
Eliminados	0	0



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

De esta manera, se encuentra que el 81 % de los ítems fueron aceptados sin modificación, el 17% requería revisión en alguno de los criterios, el 1 % determinó reemplazar y ninguno de los ítems fue considerado para ser eliminado.

En virtud del anterior análisis, se realizan las modificaciones correspondientes. La tabla 31 presenta la evolución del modelo de evaluación desde la presentación del banco de preguntas, hasta llegar a la versión final que se usó en el pilotaje.

Tabla 30 Evolución del modelo de evaluación. Fuente: elaboración propia.

		Banco de ítems							
		inicial		Versión 1		Versión final			
Sistema organizacional	Dimensión	Variable	N.º de indicadores	N.º de ítems	N.º de indicadores	N.º de ítems	N.º de indicadores	N.º de ítems	N.º de ítems
Sistema individual	Desarrollo y pertenencia	Autorealización	-	-	4	9	8	5	
		Sentimiento de orgullo	4	13	4	7	7	9	
	Liderazgo	Liderazgo directo (capacidad de liderar)	8	13	5	10	11	9	
		Liderazgo estratégico (inspirar una visión compartida)	11	10	5	8	7	4	
		Liderazgo del comandante	-	-	4	10	9	4	
		Felicidad en el trabajo	Felicidad en el trabajo	4	10	-	-	-	-
Sistema organizacional	Gestión del talento humano	Fidelización	6	12	5	11	11	5	
		Desarrollo de carrera	-	-	6	10	10	5	
		Excelencia del desempeño y las competencias (claridad del rol)	-	-	6	14	10	6	
	Direccionamiento y administración del talento	Direccionamiento y administración del talento	7	10	5	10	10	5	
	Gestión del desempeño	Gestión del desempeño	9	14	-	-	-	-	
	Excelencia del desempeño y las competencias	Excelencia del desempeño y las competencias	4	10	-	-	-	-	
Sistema interpersonal	Cohesión y relaciones laborales	Cohesión y relaciones laborales	-	-	4	7	7	3	
Escala de validez	Escala de validez	Escala de validez	-	-	5	5	5	1	
						10			
		Totales		53	92	53	1	95	56

## Confiabilidad del instrumento en términos de consistencia interna

Técnicamente la confiabilidad se refiere a la consistencia de las mediciones cuando no existen razones teóricas ni empíricas para suponer

que la variable por medir haya sido modificada diferencialmente para los sujetos. Así, el valor obtenido es un valor numérico entre 0 y 1, lo que indica que a medida que se acerca a 1 el test está midiendo con mayor precisión (Henríquez, 2007).

Dicho atributo se puede estimar de diferentes maneras, dependiendo de la fuente de error que se desee analizar; así, una alternativa es determinar la estabilidad temporal, lo que hace referencia a la sensibilidad del instrumento a factores que afectan las puntuaciones con el paso del tiempo. Usualmente, esto se estima correlacionando las puntuaciones obtenidas en dos momentos diferentes. Otra posibilidad es analizar la sensibilidad del instrumento a fuentes de error aleatorio introducidas por las condiciones del muestreo de los ítems. Por lo general, esto se consigue construyendo instrumentos paralelos así también correlacionando sus puntuaciones o calculando índices de consistencia interna a partir de las intercorrelaciones de los ítems.

Teniendo en cuenta las condiciones de disponibilidad de los sujetos que formaron parte de la muestra de estandarización y la dificultad que acarrea construir más de un instrumento, para este estudio se decidió estimar coeficientes de consistencia interna, dado que solo requieren una aplicación del instrumento.

Dichos coeficientes se conceptualizan como el grado en el que están relacionados recíprocamente los reactivos de la prueba, lo cual sería un indicador de la homogeneidad del instrumento (Loevinger, 1947; Anastasi, 1961, citados por Brown, 1980).

Una de las medidas más aceptadas de homogeneidad es el coeficiente alfa de Cronbach (1951), que se puede interpretar como la correlación promedio entre una y otra prueba psicológica de la misma longitud, tomadas en un mismo dominio.

Desde un punto de vista de la interpretación práctica, el índice toma valores entre 0 y 1, cuanto más próximo a 1, los ítems son más consistentes entre sí. Generalmente, los instrumentos muy consistentes producen valores por encima de 0,75 o 0,80, pero esto solo es un indicativo. La interpretación de alfa ha de tener en cuenta la longitud del test (con más ítems mayores tiende a ser alfa), el contexto de investigación donde se trabaja.

El coeficiente alfa puede aplicarse a test, pruebas y cuestionarios virtualmente en cualquier área de la medición psicológica donde se utilicen ítems o partes que se espera razonablemente que midan lo mismo. Por supuesto, en la medida en que se trate de un test o cuestionario cuyo contenido es heterogéneo, es razonable esperar un alfa menor. Si los ítems (o partes en su caso) fueran completamente linealmente independientes entre sí (es decir correlacionaran 0) alfa valdría 0.

Uno de los procedimientos más conocidos para estimar el alfa es el desarrollado por Cronbach (1951); su fórmula puede interpretarse como una estimación media del coeficiente de fiabilidad del test a partir de la correlación media entre estos usando coeficientes de correlación de Pearson (Melía, 2001). Sin embargo, una de las dificultades del procedimiento tradicional de Cronbach es que se basa en supuestos sobre la continuidad

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

de las puntuaciones y la distribución normal de estas; cuando se violan dichos prerrequisitos, se puede dar su subestimación. Una alternativa válida en este caso es estimar el alfa ordinal.

La diferencia crítica entre estos dos coeficientes es que el alfa ordinal se basa en la matriz de correlación policórica, en lugar de la matriz de covarianza (correlación) de Pearson, y de esta forma es más adecuado para estimar alfa con mediciones con datos ordinales. (Contreras. 2018 p.65)

**La fórmula de este coeficiente es la siguiente:**

$$\alpha_{ordinal} = \frac{n}{n-1} \left[ \frac{n(\underline{\lambda})^2 - \underline{\lambda}^2}{n(\underline{\lambda})^2 + \mu^2} \right]$$

donde:

**n**= número de ítems que miden la variable

**$\underline{\lambda}$** = peso factorial medio de los ítems

**$\mu$** =unicidad del ítem

Ilustración 85 Fórmula.

El uso de la anterior fórmula se justifica para el caso de este estudio, puesto que se utilizaron reactivos de tipo Likert, es decir, de nivel ordinal; asimismo, se pudo comprobar que las puntuaciones totales obtenidas en las diferentes variables presentaron asimetría. Para su estimación se utilizó el paquete estadístico Factor 2020.

La tabla 32 detalla los resultados obtenidos con el alfa ordinal.

Tabla 31 Resultados con alfa ordinal.

Variable	Alfa de Ordinal	Varianza del factor	N
Autorealización	0,958	5,803	660
Sentimiento de orgullo	0,958	5,223	660
Liderazgo directo (capacidad de liderar)	0,986	9,286	660
Liderazgo estratégico (inspirar una visión compartida)	0,982	6,164	660
Liderazgo del comandante	0,990	8,015	660
Fidelización	0,973	7,655	660
Direccionamiento y admón. del talento humano	0,964	7,142	660
Desarrollo de carrera	0,974	7,412	660
Excelencia del desempeño y las competencias (claridad del rol)	0,980	7,693	660
Cohesión y relaciones laborales	0,970	5,562	660
Escala de validez	0,957	3,808	660

Como puede apreciarse, todas las variables incluidas en el instrumento presentaron índices superiores a 0,950, por lo cual puede concluirse que muestran un apropiado nivel de consistencia interna.

Para complementar el análisis anterior, se determinó la consistencia de la escala completa y se utilizó el coeficiente sugerido por (Vargas Porras & Hernández Molina, 2010) que permite determinar la confiabilidad a partir de los coeficientes de cada una de las escalas que conforman el instrumento cuando ellas miden factores independientes.

La fórmula es:

$$r_{tt} = 1 - \frac{\sum \vartheta_j^2 - \sum \vartheta_j^2 r_{jj}}{\vartheta_x^2}$$

donde:

$\vartheta_j^2$  = varianza de cada variable

$r_{jj}$  = coeficiente alfa de cada variable

$\vartheta_x^2$  = varianza del test completo

El resultado se interpreta con base en el mismo criterio de las alfas individuales. Así es como se encontró un coeficiente de fiabilidad para la escala global  $r_{tt}=0.99$ .

Se concluye a partir de los diferentes coeficientes que el instrumento presenta índices elevados de consistencia interna, tanto para cada una de las variables, como para la prueba completa.

## Confiabilidad y validez de los ítems

Se estimaron las propiedades de los ítems a través de los parámetros de discriminación e índice de fiabilidad de cada uno.

El índice de discriminación alude a la capacidad que tiene el ítem para diferenciar en términos estadísticos, de una forma deseada entre los grupos de examinados. En otras palabras, informa si el ítem diferencia entre los individuos que presentan puntuaciones altas y aquellos que presentan puntuaciones bajas en el atributo medido. Como los reactivos son los componentes de una prueba, aquellos que logran hacer esta diferencia constituirán una buena prueba (Hurtado, 2016).

El índice de discriminación se halla mediante el coeficiente de correlación de Pearson corregido, el cual es una medida de relación lineal entre el ítem y la escala a la cual pertenece. Por su parte, el concepto de corregida hace referencia a que la puntuación de la escala se obtiene a partir

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

de la suma de las puntuaciones de los ítems que la conforman; por ello, es necesario extraer de esta la puntuación del ítem, de esta manera se evita inflar el valor de la correlación.

Para interpretar el valor de la discriminación, puede utilizarse el criterio propuesto por Chacón y Sanduvete (2014), el cual se presenta en la tabla 33.

Tabla 32 Propuesta criterio de discriminación.

Índice de discriminación	Interpretación
$D \geq 0,40$	El ítem presenta un gran poder discriminativo
$0,30 \leq D \leq 0,39$	Discriminación aceptable
$0,20 \leq D \leq 0,29$	Discrimina poco y necesita una revisión
$0,10 \leq D \leq 0,19$	Ítems no adecuados, que deber ser modificados o eliminados del test
$D \leq 0,0$	Ítems que deben eliminarse directamente

Con respecto al índice de fiabilidad del ítem (IF), se considera como una medida de la consistencia con la que el ítem mide el constructo o dominio de interés. Este parámetro es importante dado que la fiabilidad del test está directamente relacionada con los índices de fiabilidad de los ítems que lo componen.

Respecto a la interpretación del IF se consideran como valores apropiados aquellos superiores a 0,35, los cuales indicarían una alta contribución del ítem a la consistencia de la prueba; valores entre 0,20 y 0,34 son moderados de igual manera valores inferiores exigen revisión del ítem.

Como puede apreciarse en tabla 33, el 99 % de los ítems registran parámetros que indican un gran poder discriminativo y altos índices de fiabilidad, solo el ítem 46 perteneciente a la escala autorrealización se encuentra en el rango moderado discriminación y con un bajo nivel de fiabilidad.

Otro aspecto importante para analizar es la proporción de respuesta para cada categoría. Los diagramas de barras permiten contrastar tendencias en el interior de cada ítem a partir de sus frecuencias. De esta manera, se puede apreciar en los datos que solo dos ítems presentan índices de discriminación moderada.

Tabla 33 Índices de confiabilidad. Fuente: elaboración propia.

Ítem	Índice de confiabilidad	Ítem	Índice de confiabilidad	Ítem	Índice de confiabilidad	Ítem	Índice de confiabilidad
r1	0,72	r1	0,88	r1	0,72	r1	0,88
r2	0,83	r2	0,90	r2	0,83	r2	0,90
r3	0,80	r3	0,85	r3	0,80	r3	0,85
r4	0,75	r4	0,82	r4	0,75	r4	0,82
r5	0,70	r5	0,78	r5	0,70	r5	0,78
r6	0,65	r6	0,73	r6	0,65	r6	0,73
r7	0,60	r7	0,68	r7	0,60	r7	0,68
r8	0,55	r8	0,63	r8	0,55	r8	0,63
r9	0,50	r9	0,58	r9	0,50	r9	0,58
r10	0,45	r10	0,53	r10	0,45	r10	0,53
r11	0,40	r11	0,48	r11	0,40	r11	0,48
r12	0,35	r12	0,43	r12	0,35	r12	0,43
r13	0,30	r13	0,38	r13	0,30	r13	0,38
r14	0,25	r14	0,33	r14	0,25	r14	0,33
r15	0,20	r15	0,28	r15	0,20	r15	0,28
r16	0,15	r16	0,23	r16	0,15	r16	0,23
r17	0,10	r17	0,18	r17	0,10	r17	0,18
r18	0,05	r18	0,13	r18	0,05	r18	0,13
r19	0,00	r19	0,08	r19	0,00	r19	0,08
r20	0,00	r20	0,00	r20	0,00	r20	0,00
r21	0,00	r21	0,00	r21	0,00	r21	0,00
r22	0,00	r22	0,00	r22	0,00	r22	0,00
r23	0,00	r23	0,00	r23	0,00	r23	0,00
r24	0,00	r24	0,00	r24	0,00	r24	0,00
r25	0,00	r25	0,00	r25	0,00	r25	0,00
r26	0,00	r26	0,00	r26	0,00	r26	0,00
r27	0,00	r27	0,00	r27	0,00	r27	0,00
r28	0,00	r28	0,00	r28	0,00	r28	0,00
r29	0,00	r29	0,00	r29	0,00	r29	0,00
r30	0,00	r30	0,00	r30	0,00	r30	0,00
r31	0,00	r31	0,00	r31	0,00	r31	0,00
r32	0,00	r32	0,00	r32	0,00	r32	0,00
r33	0,00	r33	0,00	r33	0,00	r33	0,00
r34	0,00	r34	0,00	r34	0,00	r34	0,00
r35	0,00	r35	0,00	r35	0,00	r35	0,00
r36	0,00	r36	0,00	r36	0,00	r36	0,00
r37	0,00	r37	0,00	r37	0,00	r37	0,00
r38	0,00	r38	0,00	r38	0,00	r38	0,00
r39	0,00	r39	0,00	r39	0,00	r39	0,00
r40	0,00	r40	0,00	r40	0,00	r40	0,00
r41	0,00	r41	0,00	r41	0,00	r41	0,00
r42	0,00	r42	0,00	r42	0,00	r42	0,00
r43	0,00	r43	0,00	r43	0,00	r43	0,00
r44	0,00	r44	0,00	r44	0,00	r44	0,00
r45	0,00	r45	0,00	r45	0,00	r45	0,00
r46	0,00	r46	0,00	r46	0,00	r46	0,00
r47	0,00	r47	0,00	r47	0,00	r47	0,00
r48	0,00	r48	0,00	r48	0,00	r48	0,00
r49	0,00	r49	0,00	r49	0,00	r49	0,00
r50	0,00	r50	0,00	r50	0,00	r50	0,00
r51	0,00	r51	0,00	r51	0,00	r51	0,00
r52	0,00	r52	0,00	r52	0,00	r52	0,00
r53	0,00	r53	0,00	r53	0,00	r53	0,00
r54	0,00	r54	0,00	r54	0,00	r54	0,00
r55	0,00	r55	0,00	r55	0,00	r55	0,00
r56	0,00	r56	0,00	r56	0,00	r56	0,00
r57	0,00	r57	0,00	r57	0,00	r57	0,00
r58	0,00	r58	0,00	r58	0,00	r58	0,00
r59	0,00	r59	0,00	r59	0,00	r59	0,00
r60	0,00	r60	0,00	r60	0,00	r60	0,00
r61	0,00	r61	0,00	r61	0,00	r61	0,00
r62	0,00	r62	0,00	r62	0,00	r62	0,00
r63	0,00	r63	0,00	r63	0,00	r63	0,00
r64	0,00	r64	0,00	r64	0,00	r64	0,00
r65	0,00	r65	0,00	r65	0,00	r65	0,00
r66	0,00	r66	0,00	r66	0,00	r66	0,00
r67	0,00	r67	0,00	r67	0,00	r67	0,00
r68	0,00	r68	0,00	r68	0,00	r68	0,00
r69	0,00	r69	0,00	r69	0,00	r69	0,00
r70	0,00	r70	0,00	r70	0,00	r70	0,00
r71	0,00	r71	0,00	r71	0,00	r71	0,00
r72	0,00	r72	0,00	r72	0,00	r72	0,00
r73	0,00	r73	0,00	r73	0,00	r73	0,00
r74	0,00	r74	0,00	r74	0,00	r74	0,00
r75	0,00	r75	0,00	r75	0,00	r75	0,00
r76	0,00	r76	0,00	r76	0,00	r76	0,00
r77	0,00	r77	0,00	r77	0,00	r77	0,00
r78	0,00	r78	0,00	r78	0,00	r78	0,00
r79	0,00	r79	0,00	r79	0,00	r79	0,00
r80	0,00	r80	0,00	r80	0,00	r80	0,00
r81	0,00	r81	0,00	r81	0,00	r81	0,00
r82	0,00	r82	0,00	r82	0,00	r82	0,00
r83	0,00	r83	0,00	r83	0,00	r83	0,00
r84	0,00	r84	0,00	r84	0,00	r84	0,00
r85	0,00	r85	0,00	r85	0,00	r85	0,00
r86	0,00	r86	0,00	r86	0,00	r86	0,00
r87	0,00	r87	0,00	r87	0,00	r87	0,00
r88	0,00	r88	0,00	r88	0,00	r88	0,00
r89	0,00	r89	0,00	r89	0,00	r89	0,00
r90	0,00	r90	0,00	r90	0,00	r90	0,00
r91	0,00	r91	0,00	r91	0,00	r91	0,00
r92	0,00	r92	0,00	r92	0,00	r92	0,00
r93	0,00	r93	0,00	r93	0,00	r93	0,00
r94	0,00	r94	0,00	r94	0,00	r94	0,00
r95	0,00	r95	0,00	r95	0,00	r95	0,00
r96	0,00	r96	0,00	r96	0,00	r96	0,00
r97	0,00	r97	0,00	r97	0,00	r97	0,00
r98	0,00	r98	0,00	r98	0,00	r98	0,00
r99	0,00	r99	0,00	r99	0,00	r99	0,00
r100	0,00	r100	0,00	r100	0,00	r100	0,00

## Conclusiones

-La medición del clima organización se constituye en una herramienta relevante para el diseño del componente, dado que permite identificar las características para tener en cuenta en el análisis de las dimensiones y las variables que conforman el clima organizacional, llevar a cabo una medición del grado de afectación de cada una de ellas e identificar la de mayor incidencia.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

- La importancia de la medición radica en las necesidades de la organización y la identificación de los aspectos que requieren ser evaluados y que puedan dinamizar el sistema completo.

- El establecer los criterios para determinar la herramienta más adecuada para determinar las dimensiones y subdimensiones del clima organizacional específicas para la Fuerza Aérea Colombiana garantizó el desarrollo paso a paso de ese proceso metodológico implementado con la validación de expertos. Por ello, como se presentó en el análisis de resultados, el 81 % de los ítems fueron aceptados sin modificación, el 17 % requería revisión en alguno de los criterios, el 1 % se reemplazó no obstante ninguno de los ítems fue considerado para ser eliminado.

- Al utilizar la herramienta MIC-MAC se logró identificar las dimensiones y subdimensiones que podrían generar mayor impacto al sistema organizacional de la Fuerza, definiendo las variables más importantes y agrupándolas en las dimensiones, como se mostró en la tabla 34.

- Gracias a la definición de las variables, una vez aplicada la herramienta, se pudo realizar su análisis mediante los tres sistemas planteados por Uribe (2015): a) sistema interpersonal; b) sistema individual, c) sistema organizacional. Estos son criterios que permiten identificar factores de riesgos personales e impacto institucional.

- La conceptualización del componente clima organizacional para la FAC es coherente con el enfoque sistémico, sustento teórico de la investigación. Así, se partió de la definición de sistemas, dimensiones y subdimensiones para identificar los indicadores e ítems, lo que permitió el diseño de 44 indicadores, 96 preguntas específicas de la medición igualmente 5 preguntas de validación; para terminar con la validación de expertos, conclusiones del juicio que serán utilizadas para la descripción psicométrica de la prueba.

- La determinación de las variables propias para la Fuerza permite generar planes de acción oportunos y pertinentes que dinamicen las variables requeridas dentro de la institución.

## Referencias

Arango Chávez, R. M., Macluf, J. E. y Delfín Beltran, L. A. (2016). El origen del clima organizacional, desde una perspectiva de las escuelas de la administración: una aproximación. *Ciencia administrativa. Ciencia Administrativa*, 1, 9-14. Recuperado de <https://www.uv.mx/iiesca/files/2016/11/02ca201601.pdf>

Borda Martínez, M. J. (2016). Gestión estratégica del clima laboral. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

Bustamante-Ubilla, M. A., Lapo Maza, M. del C., Tello-Sánchez, M. y Núñez-Lapo, M. de los Á. (2018). Origen desarrollo y evolución del constructo clima organizacional. *Revista empresarial*, 46, 12-23. Recuperado de <https://editorial.ucsg.edu.ec/ojs-empresarial/index.php/empresarial-ucsg/article/view/138/140>

Campo Ortiz, Y. I. y Daza Caballero, V. (2016). Medición del clima organizacional en la Universidad de Santander UDES, de la Ciudad de Valledupar. (Tesis doctoral). Corporación Universitaria del Caribe, Colombia.

Contreras Espinoza S, Novoa-Muñoz F. Ventajas del alfa ordinal respecto al alfa de Cronbach ilustradas con la encuesta AUDIT-OMS. *Rev Panam Salud Publica*. 2018;42: e65. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.65>

Departamento administrativo de la función pública. (2005). Guía de intervención cultura, clima y cambio. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: Departamento administrativo de la función pública. Recuperado de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/8633/12115-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ekvall, G. (1986). El clima organizacional Una puesta a punto de la teoría e investigaciones. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, psychology, 2(4-5), 95-113.

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2011). Análisis de la calidad de los ítems para la evaluación de clima laboral en la Fuerza Aérea Colombiana. Concepto de clima organizacional. Autor.

Fuerza Aérea Colombiana. (2011). Plan Estratégico Institucional 2011-2030. Bogotá D.C, Colombia: FAC.

Fuerza Aérea Colombiana. (2020). Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042, Bogotá D.C, Colombia FAC

García Ramírez, M. G. e Ibarra Velázquez, L. A. (2009). Diagnóstico de clima organizacional del departamento de educación de la Universidad de Guanajuato. Universidad de Guanajuato, México. (tesis doctoral facultad de derecho, economía y ciencias sociales

García Solarte, M. (2009). Clima organizacional y su diagnóstico: una aproximación conceptual. *Cuadernos de Administración*, (42), 43-61. <https://www.redalyc.org/pdf/2250/225014900004.pdf>

Garza Villegas, J. B. y Cortez Alejandro, D. V. (2011). El uso del método MICMAC y MACTOR análisis prospectivo en un área operativa para la búsqueda de la excelencia operativa a través del Lean Manufacturing. *InnOvaciones de Negocios*, 8(16), 335-356.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. (2014). Desarrollo de la perspectiva teórica: revisión de la literatura y construcción del marco teórico. En *Metodología de la Investigación* (6ª ed., pp. 58-87). México: McGraw-Hill

Hurtado Mondonedo, Luis Leoncio. Relación entre los índices de dificultad y discriminación. *Rev. Digit. Invest. Docencia Univ.* [online]. 2018, vol.12, n.1 [citado 2021-01-31], pp.273-300. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-25162018000100016&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-25162018000100016&lng=es&nrm=iso). ISSN 2223-2516. <http://dx.doi.org/10.19083/ridu.12.614>.

Mejía Echevarría A. I. (2019). Revisión de la literatura de clima organizacional, estado del arte. *Tecnocienica*. Chihuahua, 12(3), 170-181.



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS mantiene su firme compromiso con los principios establecidos en el preámbulo de la Constitución. <https://www.who.int/es/about/who-we-are/constitution>

Ramos, D. C. (agosto de 2012). El Clima organizacional, definición, teoría, dimensiones y modelos de abordaje. Tesis de grado Escuela de Ciencias Sociales Artes y Humanidades. Programa de psicología. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia: UNAD. pag. 9.

Rivera Porras, D. A., Rincón Vera, J. E., Flórez Gamboa, S. R. (2018). Percepción del clima organizacional: un ambiente desde los macroprocesos de una ESE. Espacios, 39(19), pag.5.

Rodas Andrade, K. C. y Alarcón Estévez, P. O. (2013, 14 de junio). Modelo de desarrollo de clima organizacional para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT Empresa Pública de la provincia del Cañar. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1212>  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1212>

Segredo Pérez, A. M. (2016). Aproximación teórica a la evolución, teorías, enfoques y características que han sustentado el desarrollo de las organizaciones. Revista Cubana Salud Pública, 42(4), 1-13.

Simón Fernández, S. M. (2019, febrero). Diagnóstico del climar organizacional. (Trabajo de grado). Universidad de Lima, Perú.

Solís, U., G. (2019). Acompañamiento metodológico para la medición y análisis del clima organizacional laboral. Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

Contreras Espinosa, S., & Novoa Muñoz, F. (18 de junio de 2018). Xcielo Revista Panamerica de salud pública. Obtenido de [www.scielosp.org/article/rpsp/2018.v42/e65](http://www.scielosp.org/article/rpsp/2018.v42/e65):  
<https://www.scielosp.org/article/rpsp/2018.v42/e65>

Vargas Porras, C., & Hernández Molina, L. M. (5 de marzo de 2010). <https://revistas.unal.edu.co/>. (Universidad Nacional) Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/>:  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/download/15659/18162>

Vega, J. C., Díaz Rodríguez, E. G. y Montoya, R. A. (2012). Metodología de la evaluación del clima orgnaizacional a través de un modelo de regresión logística par ala universidad en Bogotá Colombia. Revista CIFE: Lecturas de Economía Social, 14(21), 63-38.

## Capítulo 10

# Integración de Tecnologías Satelitales y Convencionales para el Servicio de Vigilancia Aérea en Colombia

Edgar Leonardo Gómez Gómez

### Resumen

Con este capítulo se pretende hacer un análisis de las tecnologías y su evolución global para los Servicios a la Navegación Aérea - ANS, teniendo especial atención con la Vigilancia Aérea. Este capítulo presenta una revisión documental, la cual es el fundamento para la implementación de sistemas de última generación en Colombia que permitan prestar este servicio, evitando un estado de dependencia tecnológica, debido a la implementación de tecnologías que trabajan con constelaciones satelitales que no pertenecen a Colombia, por lo cual no se tiene una forma local de administrar y mantener estos recursos.

Colombia presenta una tendencia en su evolución tecnológica acorde con lo que sucede a escala global. Actualmente, se están incorporando sistemas de vigilancia que utilizan las constelaciones satelitales, como por ejemplo ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast). La situación problemática a resolver es que el utilizar satélites para el servicio mencionado, puede conllevar al País a ser un dependiente tecnológico de los propietarios de estas constelaciones. Si eventualmente se presenta un evento que interfiera con la señal de los satélites que recibe Colombia, la vigilancia aérea se afectaría. Esto crea un riesgo para el tránsito aéreo y para los miles de personas que se movilizan por nuestro espacio aéreo, sin contar con la afectación a la carga y la economía. En este capítulo se describen los sistemas convencionales y las nuevas tecnologías para vigilancia aérea, con el fin de identificar fortalezas, debilidades y ventajas para su operación en el espacio aéreo. Además, se establece una propuesta para la implementación de sistemas que usan satélites, acorde con las operaciones y las condiciones de nuestro espacio aéreo. Todo lo anterior orientado a evitar el estado de dependencia tecnológica.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

**Palabras Clave:** ADS-B; Dependencia tecnológica; Navegación Aérea; Radar; Sistemas satelitales; Transporte aéreo; Vigilancia aérea.

## Abstract

This paper is the basis for the integration of new technologies for Air Surveillance to the Colombian infrastructure, avoiding a technological dependence caused by using systems based on satellite technologies which are owned by other countries. Currently, Colombia is part of the world trend, and is incorporating technologies that use satellites to provide the Air Surveillance service, such as ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast). The problem analyzed is that with these technologies the risk of becoming a technology dependent country is generated, considering that Colombia does not own them. In case of any abnormal situation on an international scale that interrupts the availability of satellites for our country, the provision of the air surveillance service is at risk. This would generate a significant problem for air navigation in Colombia, and would also risk hundreds of lives, affecting the free mobility of our citizens and national economic stability.

To deal with the problem, a description will be made of the conventional systems and the new technologies used to provide the surveillance service.

Then a proposal for the integration of conventional and satellite technologies will be presented, which considers air operation conditions and the characteristics of Colombian airspace. Furthermore, this proposal should avoid technological dependence on other countries.

**Keywords:** ADS-B; Air Navigation; Air transportation; Radar; Satellite systems; Surveillance; Technological dependency.

## Introducción.

La implementación de tecnologías para los servicios ANS, tales como GNSS (Global Navigation Satellite System), ADS-B u otras, necesita imprescindiblemente utilizar satélites (ICAO, 2020). Estos operan principalmente con las constelaciones de posicionamiento satelital como GPS, GLONASS o GALILEO y/o redes de comunicaciones como INTELSAT e IRIDIUM, las cuales son administradas y tienen sus

segmentos de control en lugares como Estados Unidos, Rusia o Europa (IntelSat, 2019) (ROSCOSMOS, 2020) (GPS, 2019). El hecho que la navegación o la vigilancia aérea se realice exclusivamente con este tipo de tecnologías, generaría para Colombia una dependencia tecnológica total hacia estos países.

En ese caso, existen situaciones que podrían poner en riesgo la prestación de los Servicios ANS en Colombia. Un conflicto internacional que involucre a los países mencionados, intervenciones ilícitas a través del ciberespacio o “hacking”, crisis económica, cambio climático extremo u otras fuerzas perturbadoras sobre los satélites, afectarían la prestación de los Servicios ANS sin que nuestro país pudiera hacer nada para mitigar o solucionar el problema (CSIS, 2020). Lo anterior generaría riesgos para la seguridad operacional y para los usuarios del transporte aéreo.

Se requiere que Colombia posea sistemas propios de respaldo para conservar su autonomía tecnológica para prestar los Servicios ANS, si se presenta algún evento que afecte las señales de los equipos que están fuera del manejo del Estado colombiano.

Así, la pregunta de investigación de este capítulo es la siguiente:

Teniendo en cuenta que se están implementando sistemas de vigilancia aérea en Colombia, ¿Cómo integrar tecnologías satelitales con tecnologías convencionales para Vigilancia Aérea, evitando la dependencia tecnológica externa?

## **1. Revisión Bibliográfica.**

En esta sección se muestran algunos documentos académicos escritos en Colombia que han tenido como base las tecnologías para el servicio de vigilancia aérea.

### **1.1 VHF Data Link to air traffic services in Colombia.**

Este documento, clasificado como un capítulo de libro de memorias de conferencia fue publicado en el 31st DASC, realizado en Williamsburg, VA, Estados Unidos en 2012. Contiene un estudio amplio acerca de los servicios ANS en Colombia, y cuando se publicó incluía las proyecciones futuras para este servicio en el País. Estas proyecciones hoy día ya se han venido cumpliendo (Gómez & Ortiz, 2012).

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## **1.2 Results of a VDL2 simulation in El Dorado.**

Se trata de un capítulo de libro de memorias de la Conferencia 33rd DASC, realizada en Colorado Springs, CO, Estados Unidos en 2014. Presenta un estudio de una subred de datos para intercambio de información aeronáutica entre los equipos de tierra y los de aire, tomando como caso de estudio la TMA del aeropuerto Eldorado alrededor de Bogotá. Entre las diferentes aplicaciones que tienen estas subredes es el transporte de información de vigilancia como la del sistema ADS-B (Gómez & Ortiz, 2014).

## **1.3 Apropriación y uso tecnologías ADS-B en el CETAD.**

Este artículo fue publicado en la edición No. 9 de la revista C&PA en 2014. Presenta un análisis sobre la tecnología ADS-B, y su proyección de utilización. Se enfoca en hacer un ejercicio de caracterización de la tecnología, con el objetivo de entenderla y adaptarla para poder explotarla en operaciones militares. El documento fue elaborado en el Centro de Desarrollo Tecnológico para la Defensa – CETAD (Flórez, 2014).

## **1.4 ADS-B en Colombia.**

Se trata de un artículo de la edición No. 10 de la Revista C&PA en 2015, que documenta el estado de avance en la implementación de estaciones ADS-B en Colombia. Para ese año, se instalaron las primeras estaciones prototipo para comenzar con las pruebas de campo de esta tecnología en el país (Gómez, 2015).

## **1.5 Consideraciones para la implementación del ADS-B en Colombia.**

Se trata de un artículo publicado en la revista Visión Electrónica de la Universidad Distrital en 2016. Analiza de manera general el ADS-B y presenta una revisión normativa para esta tecnología en Colombia. Además, presenta unas condiciones gerenciales y físicas para la utilización de estos sistemas (Montaña, Benavides, & Guerrero, 2016).

## **1.6 Cobertura y desempeño de estaciones ADS-B, para su implementación en Colombia**

Se trata de un trabajo de pregrado de Ing. en Telecomunicaciones de la Universidad de San Buenaventura realizado en 2017. Analiza la cobertura de las antenas ADS-B que estaban en pruebas ese año. Hace una extensa explicación sobre ADS-B y los equipos para su implementación. Además, se simulan sus coberturas y se contrastan con el desempeño real en la operación aérea (Vega & Jimenez, 2017).

## **2. Metodología**

Para abordar la pregunta de investigación, este capítulo comienza con una descripción del servicio de vigilancia aérea y los sistemas convencionales usados para su prestación. Luego se realiza una descripción del Plan Nacional de Aeronavegabilidad para Colombia (PNA-COL) (Aerocivil, 2017) en lo que tiene que ver con tecnologías de vigilancia. Teniendo en cuenta lo dicho en el PNA-COL se describen las tecnologías planificadas, para elaborar una propuesta de integración de estas, a las tecnologías usadas en la actualidad.

### **2.1 Los Servicios ANS**

Para que una aeronave se mantenga en contacto con los sistemas en tierra, son necesarios los sistemas electrónicos de vigilancia aérea, telecomunicaciones y navegación. Sin ellos, la provisión de los ANS<sup>18</sup> sería imposible. El transporte por vía aérea ha presentado un crecimiento en los últimos años y se espera que su tendencia se mantenga luego de superar la crisis por COVID-19 que impactó a todos los sectores de la economía. Esto lo evidencia la Ilustración 86, que presenta cifras del movimiento de pasajeros y carga en Colombia.

---

<sup>18</sup> Los servicios ANS son prestados desde tierra hacia las aeronaves, y permiten que estas puedan desarrollar un vuelo seguro, ordenado y coordinado. En Colombia el Prestador ANSP es la Aeronáutica Civil. Estos son: ATS, AIM, MET, SAR y CNS.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país



Ilustración 86 Crecimiento en las operaciones aéreas (Salazar Gómez, 2018)

Lo mismo sucede con los vuelos locales e internacionales que se muestran en la Ilustración 87

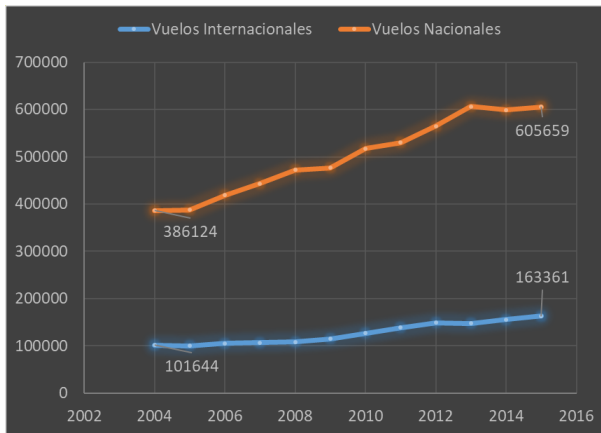


Ilustración 87 Vuelos nacionales e internacionales (Gómez, 2019)

Mediante el servicio CNS (Communications, Navigation & Surveillance) se implementa, gestiona y mantiene la infraestructura tecnológica necesaria para que las aeronaves estén siempre en contacto con tierra u otras aeronaves, para propósitos de comunicaciones, navegación y vigilancia aérea. Esta infraestructura tecnológica permite la prestación del Servicio Fijo Aeronáutico, Servicio Móvil Aeronáutico, Servicio de radionavegación aeronáutica y Servicio de vigilancia aérea, los cuales incluyen sistemas analógicos y digitales, cableados e inalámbricos, para establecer enlaces tierra–tierra, aire–tierra y aire–aire (ICAO, 2017) Ilustración 88.

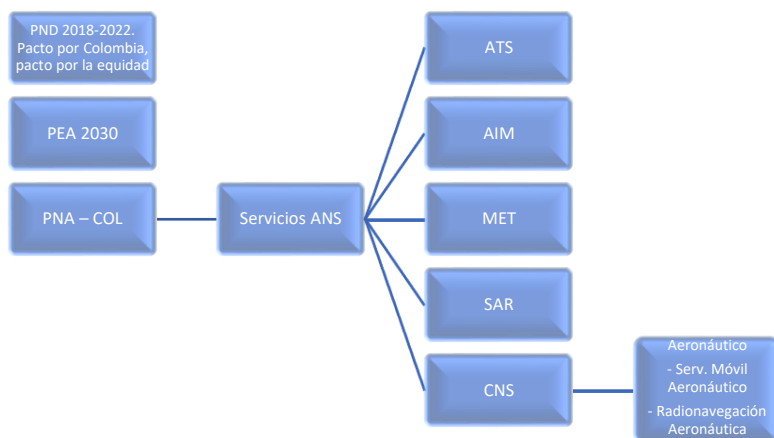


Ilustración 88 Contexto de los servicios ANS

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 La vigilancia con sistemas convencionales RADAR

Este servicio permite al ANSP, en Colombia la Aerocivil, saber qué elementos están volando en su espacio aéreo, y conocer su identificación, posición, velocidad, rumbo, y altitud. Estos datos son usados por el ATS para gestionar el flujo de aeronaves para que puedan desplazarse ordenadamente y de manera y segura. La información también es entregada a la Fuerza Aérea, quien es la Autoridad de Aviación de Estado, para defensa y seguridad del espacio aéreo. Los datos mencionado son obtenidos usando equipos RADAR (Radio Detection & Ranging). Los radares emiten una onda E.M altamente directiva, usando una antena parabólica que gira constantemente a través de los 360 grados acimutales. La onda electromagnética transmitida es reflejada en las aeronaves. Este reflejo es capturado por la misma antena, recibido y transmitido al procesador de datos Radar, quien se encarga de establecer la posición y demás características mencionadas anteriormente de las aeronaves. Cada estación Radar tiene una cobertura establecida, limitada por su ubicación, las condiciones del terreno circundante, y su potencia de transmisión. Los patrones de radiación de las estaciones se unen para cubrir el espacio aéreo a vigilar. Los sensores Radar utilizados en Colombia son de dos tipos: primario (PSR) y secundario (SSR) (Aerocivil, 2017). En la figura 4 se presenta una fotografía de la estación “El Tablazo”, en la cual se aprecian las antenas de los radares instalados allí.



La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país



Ilustración 89 Estación Radar El Tablazo

### **2.3 Vigilancia Aérea en el Plan de Navegación Aérea PNA-COL**

El PNA-COL (Aerocivil, 2017) es un documento de la Aeronáutica Civil, que establece las necesidades y el plan para el desarrollo del Sector Transporte – modo aéreo en Colombia. Orienta los planes de acción e inversión para mantener altos niveles de seguridad operacional en la utilización del espacio aéreo. Está alineado al Plan Nacional de Desarrollo – PND (DNP, 2018) al Plan Estratégico Sectorial -PES (MinTransporte, 2019), al Plan Estratégico Aeronáutico - PEA 2030 (Aerocivil, 2018) y al Plan Mundial de Navegación Aérea – GANP (ICAO, 2020).

En referencia a la vigilancia aérea, el PNA-COL establece que en Colombia deben ser implementados sistemas ADS-B y MLAT (Multilateración), en concordancia con el Plan Mundial de Navegación Aérea propuesto por la OACI (Aerocivil, 2017).

## **2.4 ADS-B Automatic Dependent Surveillance – Broadcast**

ADS-B basa su funcionamiento en el Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System), y en enlaces de comunicación a través de datos (Data Link) para detectar blancos móviles. Para hacerlo, el equipo que va a ser vigilado debe establecer su posición mediante la información dada por las constelaciones de posicionamiento satelital, y luego la envía por medio de un data link al sistema en tierra para que este obtenga la información de su ubicación y otras variables del vuelo. En el sector transporte modo aéreo, la información que las aeronaves obtienen por medio de su posicionador GNSS, es entregada al Servicio ATM del prestador de Servicios ANS para que pueda ser visualizada en las pantallas de vigilancia. A este tipo de vigilancia se le denomina “Vigilancia Dependiente”, debido a que la estación en tierra depende de que la aeronave le informe su posición para poder detectarla, diferente por ejemplo a los radares primarios PSR que hacen uso de un eco electromagnético reflejado en el fuselaje de las aeronaves para detectarlas, a lo que se le denomina “Vigilancia No Colaborativa” (Vega & Jiménez, 2017).

Este sistema de vigilancia puede ser usado por vehículos aéreos, terrestre y marítimos que tengan los equipos necesarios para transmitir sus datos de navegación, ubicación, identificación por medio del enlace data link. (ICAO, 2017). En el mensaje enviado, además de posición se pueden enviar otro tipo de datos, lo cual amplía la cantidad e información que puede transmitir este sistema, en relación con los datos que se obtienen de un sistema de vigilancia Radar.

## **2.5. Multilateración (MLAT)**

La Multilateración (MLAT) es una tecnología desarrollada con fines militares en los años 80 para localizar con precisión aeronaves “fantasmas”, utilizando un método conocido como TDOA (Time Difference of Arrival). La MLAT se basa en las señales procedentes del transponder de una aeronave (Modo A/C, Modo S o ADS-B) que son detectadas en una serie de estaciones receptoras localizadas en tierra. Se necesitan un número mínimo de tres equipos receptores localizados en el perímetro del área a vigilar para que la incertidumbre que puede presentar el tiempo de respuesta en el transponder disminuya (Ramírez, Serrato, & Buitrago, 2017). Cada estación en tierra genera una superficie hiperbólica en la cual su distancia a cada estación es homogénea. La aeronave va a localizarse en el punto donde estas hipérbolas se cruzan. La MLAT puede usarse para vigilar objetos en tierra, para vigilancia en rutas de aproximación al aeropuerto y en ruta (ICAO, 2020).

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Los sistemas de Multilateración pueden clasificarse en activos o pasivos. Los sistemas pasivos requieren sólo receptores de tierra, mientras que los sistemas activos requieren receptores de tierra y de al menos un interrogador, el cual permite que el sistema sea independiente de otras fuentes para activar las transmisiones de aeronaves. Generalmente los equipos de Multilateración son activos, es decir que interrogan a las aeronaves para conseguir su información de altitud e identificación. Los sistemas pasivos suelen usar a los radares cercanos para realizar la interrogación. (ICAO, 2007)

Un sistema MLAT, como el mostrado en la **¡Error! No se encuentra e l origen de la referencia.**, está constituido por al menos 4 estaciones terrestres de medición, colocadas en lugares estratégicos para generar un plano de seguimiento tridimensional, capaces de recibir, marcar y transmitir las respuestas presentes en el área de cobertura.

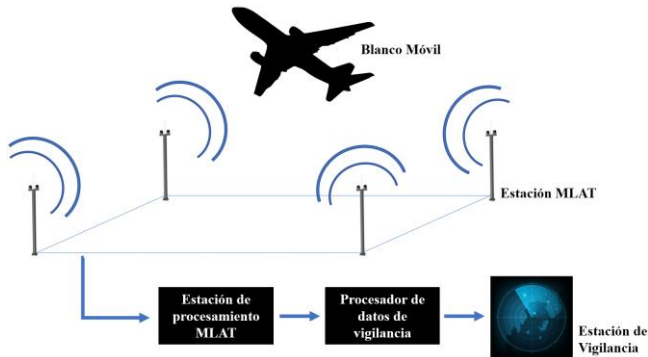


Ilustración 90 Concepto MLAT (ICAO, 2020)

Las respuestas a la interrogación, provenientes de los receptores de Multilateración llegan en tiempos diferentes, debido a que los vehículos en los que están ubicados se encuentran a distintas distancias de las estaciones de tierra. La señal de respuesta de las aeronaves y vehículos es procesada en la estación de procesamiento MLAT, que da la ubicación con precisión. El rendimiento de la Multilateración, está determinado principalmente por la geometría del despliegue de la estación en tierra. Por lo tanto, el número de sitios y la disposición geográfica de estos son los factores críticos en la eficiencia del alcance (Ramirez, Serrato, & Buitrago , 2017).

## 2.6 Tecnologías de navegación y comunicaciones basadas en satélites

Se presentan algunas de las tecnologías utilizadas en la actualidad para navegación, y comunicaciones, su principio de funcionamiento, el estado o empresa propietario y los servicios para los que sirven, que pueden ser usados desde Colombia.

## 2.6.1. Sistemas de posicionamiento global

Utilizan para su operación la triangulación. Se necesitan por lo menos cuatro satélites a la vista del usuario que está sobre la superficie terrestre, para establecer la posición en coordenadas geográficas de su equipo que hace parte del segmento de usuario. Los satélites que hacen parte de la constelación de posicionamiento emiten cada uno un mensaje electromagnético que es recibido por el dispositivo en tierra. Este dispositivo determina la distancia a cada satélite en su línea de vista, y como conoce la ubicación de ellos puede hacer la triangulación para establecer sus coordenadas sobre el globo. Esto también es aprovechado por las compañías de software que desarrollan aplicaciones cada vez más sofisticadas para ubicación en mapas, cálculo de rutas, detección de vehículos robados, detección de personas o mascotas perdidas, seguimiento a blancos para propósitos de seguridad, etc (GPS, 2019).

Pero para poder tener en línea de vista a cuatro satélites en cualquier parte del mundo, en todo momento, la constelación satelital debe estar conformada por un número considerablemente mayor de estos equipos orbitando el planeta. Entre más satélites este recibiendo el usuario en tierra, mejor será el dato de su ubicación. Existen dispositivos que reciben y procesan la señal de varias constelaciones, con lo que aumentan la disponibilidad de señales y por lo tanto aumentan su precisión, pero lo más común es que un dispositivo en tierra sea desarrollado para recibir solamente la señal de la constelación que pertenece a su mismo fabricante. Estos sistemas son propiedad de un grupo reducido de estados o empresas, quienes poseen la capacidad económica y política para ponerlos en órbita y administrarlos. Se presenta en la tabla 1, una corta reseña de las constelaciones satelitales que operan actualmente para posicionamiento global:

*Tabla 34 Características principales constelaciones satelitales*

<b>Constelación</b>	<b>Descripción</b>
<b>GPS - <i>Navigation System and Ranging - Global Positioning System</i></b>	Fue desarrollado por los Estados Unidos y es administrado en la actualidad por su Fuerza Espacial. Lo conforman veinticuatro (24) satélites orbitando el planeta en seis planos inclinados a cincuenta y cinco (55) grados, en una órbita MEO a una distancia de

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

	aproximadamente 20.000 kilómetros de la tierra (GPS, 2019).
<b>GLONASS - Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</b>	Es la constelación satelital de Rusia, desarrollada por la desaparecida Unión Soviética. La conforman treinta y un (31) satélites orbitando el planeta en 3 planos inclinados sesenta y cuatro punto ocho (64.8) grados, en una órbita MEO a 19.100 kilómetros de la tierra (ROSCOSMOS, 2020).
<b>GALILEO</b>	Pertenece a la Unión Europea. Su característica principal es que fue concebida para fines civiles, diferente a la motivación militar que dio génesis a las dos anteriores. Galileo aún se encuentra en pruebas, está compuesta por veinticuatro (24) satélites localizados en tres planos inclinados cincuenta y seis (56) grados, en una órbita MEO a 23.200 kilómetros de la tierra (EGSA, 2020).
<b>Otras</b>	En la actualidad se están desarrollando otros sistemas en diferentes lugares de la tierra. Algunos de estos tienen cobertura global y otros solamente regional. China tendrá su propio sistema llamado <i>BeiDou</i> , (el nombre chino para la constelación de la Osa Mayor). Actualmente tiene cobertura en la región de Asia, pero se concibió para tener cobertura en todo el planeta. Cuando sea operativa tendrá treinta y cinco (35) satélites (CSIS, 2019). India desarrolló el sistema IRNSS o también llamado <i>Mavic</i> . A diferencia de los anteriores, el sistema indio funciona solamente a nivel regional. Está compuesto por siete (7) satélites geoestacionarios a 36.000 kilómetros de la tierra (Government of India, 2020).

Si se analizan los servicios de posicionamiento que se utilizan en Colombia, en términos de la disponibilidad de constelaciones satelitales que tienen cobertura sobre este país, y por lo tanto que permiten el acceso a estos servicios por los ciudadanos colombianos, se concluye que solamente están disponibles las constelaciones GPS de Estados Unidos y GLONASS de la Federación Rusa. Eventualmente se tendrá acceso a las constelaciones de China y Europa, pero esto será solamente cuando entren en servicio.

## 2.6.2. Comunicaciones satelitales

Con tecnologías de telecomunicaciones convencionales que usan equipos localizados en tierra, se alcanzan coberturas de kilómetros en el mejor caso, las cuales dependen de las características orográficas alrededor de los equipos, la potencia de estos, condiciones de la atmósfera, entre muchos otros. Con el objetivo de conseguir alcances más amplios, se implementan repetidores en lugares altos como la cima de una montaña o un edificio. Aun así, lograr una cobertura amplia dentro de un terreno tan grande y complejo como el colombiano es un reto de mayores proporciones.

Es por esto que en un país con las condiciones de terreno como Colombia, las comunicaciones satelitales ocupan un espacio importante dentro del sector. La gran ventaja que tiene el usar un satélite para establecer un enlace de comunicaciones es que su alcance está dado por las dimensiones de su huella la cual puede tener el tamaño de países enteros o aún mayor hasta cubrir un continente completo. Cualquier equipo de usuario que esté inmerso en esta huella, puede conectarse con otro sin importar su localización así sea en la selva, en el llano, en la montaña o en el mar. Establecer un enlace permanente de comunicaciones entre el centro del país y lugares apartados como Leticia, Araracuara, San Andrés, los Llanos orientales, entre otros, solo es posible haciendo uso de enlaces satelitales (Aerocivil, 2017).

La realidad es que Colombia tampoco posee ni administra un satélite de comunicaciones. Para hacer uso de estos servicios es necesario contratar canales provistos por empresas que tienen su lugar de operaciones en el exterior (IntelSat, 2019) (Iridium, 2020). Servicios como internet, la telefonía, la televisión digital, la transmisión de datos de telemetría, entre otros, si son usados través de canales satelitales, requieren del pago de suscripción a empresas públicas o privadas de otros países. Así mismo, el mantenimiento y operación del servicio es totalmente ajeno a Colombia.

La cantidad de corporaciones que prestan servicios de telecomunicaciones es más grande que las de posicionamiento. El planeta cuenta con compañías privadas o Estados que poseen este tipo de satélites y ofrecen el servicio a clientes como el Estado Colombiano, que no tiene un satélite de comunicaciones propio o la capacidad de poner uno en órbita en el corto plazo. A manera de ejemplo, se mencionarán dos empresas representativas del sector de las telecomunicaciones satelitales, que tienen cobertura en Colombia y dos modelos de operación totalmente diferentes.

### a. Intelsat

Intelsat es una empresa privada, con sede en Luxemburgo y Washington D.C que tiene su origen en 1964 en una organización intergubernamental

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

que buscaba la retransmisión internacional de diferentes servicios de comunicación. Hoy en día, tiene participación de varios países y ofrece servicios de telecomunicaciones alrededor de todo el mundo, para la transmisión de video y banda ancha. Combina una red troncal de alrededor de 50 satélites localizados en la órbita geoestacionaria GEO, con sistemas en tierra que le permiten interconectar a usuarios en casi cualquier parte del mundo (Intelsat, 2020)

Los satélites de la órbita geoestacionaria GEO, giran alrededor de la tierra en una órbita ecuatorial a 36.000 kilómetros de distancia, la cual es sincrónica con la rotación de la tierra, es decir que tiene la misma velocidad angular que el planeta. El periodo orbital de un satélite GEO es de 24 horas, por lo tanto, hace un giro de 360° al mismo tiempo que lo hace el globo terráqueo. Así, los satélites geoestacionarios se ven en la misma posición las 24 horas. Para los equipos en tierra, el que el satélite esté “quieto” facilita la generación de los enlaces de comunicaciones (IntelSat, 2019).

### **b. Iridium**

Iridium es una empresa privada con sede en el estado de Virginia, Estados Unidos, que proporciona servicios globales de transmisión de voz y datos para dispositivos móviles desde 1998, haciendo uso de una constelación o red de 66 satélites interconectados, localizados en la órbita baja LEO, a una distancia de 780 km desde la tierra. Estos satélites ocupan seis orbitas polares y cada uno cumple su recorrido con un periodo orbital de 100 minutos (Iridium, 2020).

La huella de un satélite LEO es considerablemente menor que la de un GEO, por la distancia que lo separa de la tierra. Para que su cobertura sea global, se implementó una red de satélites los cuales suman sus coberturas individuales para dar alcance a todos los usuarios en el planeta. Sus satélites orbitan sincrónicamente en sus órbitas polares. Para el segmento de usuario, el equipo en tierra se conecta con un satélite que hace parte de esta red y cuando está a punto de desaparecer en el horizonte, el sistema realiza un handover para que el usuario se conecte con otro satélite de la misma red. Así, siempre está conectado a la red igual que el destino con quien está entablando una comunicación (Wu, Hu, Jin, & Zu, 2019).

## **2.7 El Espacio Aéreo de Colombia**

A continuación, se presenta una breve descripción del espacio aéreo de Colombia, para establecer las condiciones de operación de las tecnologías mencionadas anteriormente para la vigilancia aérea. En primer lugar se tiene el espacio aéreo superior, el cual cubre todo el territorio colombiano por encima de una altitud de 20.000 pies. La vigilancia aérea en este espacio es hecha por la Aerocivil y la Fuerza Aérea con cabezas radar, que cubren la mayor parte de este espacio. El espacio aéreo superior se organiza en 2 regiones FIR (Flight Information Region): FIR Bogotá y FIR Barranquilla. El espacio aéreo inferior, está compuesto por trece (13) áreas terminales TMA. Una TMA es un área delimitada alrededor de aeropuertos que manejan alto volumen de operaciones aéreas. Se generan alrededor de aeropuertos con altos flujos de operaciones aéreas y toman diferentes foras geométricas. Por su complejidad y volumen de operaciones, algunas se subdividen en áreas mas pequeñas. La vigilancia aérea se hace con los radares que tengan cobertura sobre las mismas (Gómez, 2014).

## **3. Resultados.**

### **3.1 Propuesta para el uso de nuevas tecnologías de vigilancia aérea en Colombia**

Después del análisis realizado acerca de tecnologías convencionales para la vigilancia aérea en nuestro país, el Plan de Navegación PNA COL y las características de las nuevas tecnologías planeadas, como conclusión de este capítulo se establece una propuesta que permite la implementación de estas tecnologías, evitando que Colombia se vea inmersa en un escenario de dependencia tecnológica hacia los propietarios de tecnologías satelitales.

Es importante establecer que, sin importar la tecnología usada para la vigilancia, el controlador de tránsito aéreo debe conocer con alta precisión la separación real que existe entre dos blancos móviles que se mueven dentro de un mismo espacio aéreo. Un dato erróneo o inexacto, puede llevar a una instrucción de vuelo que ponga en riesgo a las aeronaves, al generar que estas se acerquen demasiado y puedan colisionar entre sí (ICAO, 2007).

Dependiendo el escenario operativo, debe implementarse un sistema u otro, pero todos deben estar integrados de tal manera que al controlador aéreo le llegue un único mensaje que le permita conocer la situación de su espacio aéreo bajo control.



### **3.2 Propuesta para el espacio aéreo superior**

En este espacio se pueden presentar separaciones entre aeronaves más amplias que alrededor de un aeropuerto. Los aviones se pueden separar tanto horizontal como verticalmente lo que le permite al ANSP tener un margen de error considerable en el dato aportado por la tecnología de vigilancia.

Teniendo en cuenta esto, para las aeronaves que están volando la fase de “ruta”, se propone el uso de ADS-B, apoyado con sistemas de vigilancia de radar secundario SSR. La cobertura integrada de estas dos tecnologías podría garantizar una cobertura total en el espacio aéreo superior. Además, al usar estas dos tecnologías integradas, se tiene una redundancia en la información lo cual en caso de presentarse una falla permite al ANSP seguir recibiendo la información de vigilancia.

Una de las premisas con las que inició este capítulo, es que la propuesta presentada debe garantizar que Colombia no entre a un escenario de dependencia tecnológica por hacer uso de sistemas de vigilancia que se basan en tecnología satelital como el ADS-B. Pues bien, con la redundancia del SSR apoyando al ADS-B en la vigilancia del espacio aéreo superior, se evitaría caer en esta dependencia tecnológica. En caso de un conflicto internacional o una falla en los sistemas satelitales producto de condiciones técnicas o naturales, el sistema de vigilancia se degradaría, pero aún seguiría funcionando con autonomía colombiana. La consecuencia de esto es que las rutas aéreas perderían la flexibilidad que ofrece la utilización de ADS-B, y las aeronaves se verían obligadas a desarrollar su operación en las rutas rígidas preestablecidas por la localización de los radares y radioayudas, pero aún así, el sector del transporte aéreo podría seguir funcionando para el país.

### **3.3. Propuesta para el espacio aéreo inferior**

El espacio aéreo inferior tiene unas características operacionales diferentes a las mencionadas en el título anterior, pero igualmente desde el punto del sistema de vigilancia lo principal a analizar es la separación entre aeronaves. En el espacio aéreo inferior, las aeronaves confluyen en espacios aéreos mucho más pequeños. En un procedimiento de aproximación o despegue, no es posible separar las aeronaves en el plano vertical, por lo que esta separación se limita al plano horizontal que pone a una aeronave detrás de otra durante el procedimiento. A manera de ejemplo, en la Ilustración 91 se pueden ver las rutas que siguen las aeronaves en su camino de aterrizaje o despegue a las dos pistas del aeropuerto Eldorado. Se pueden ver claramente los espacios en los que confluyen las aeronaves que hacen uso de este aeropuerto.

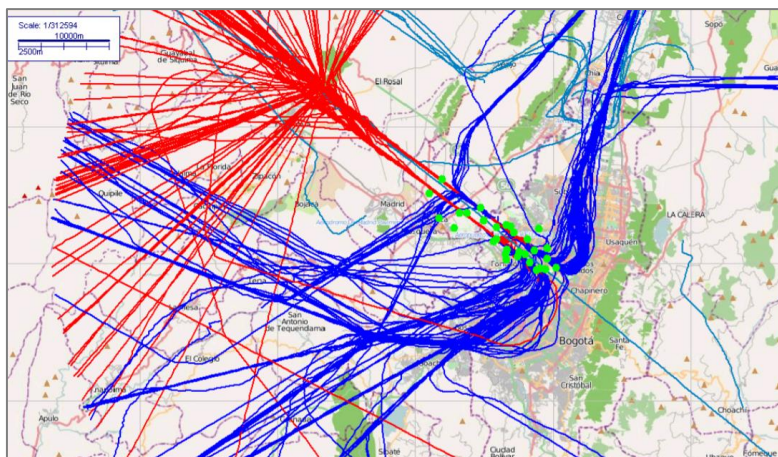


Ilustración 91 Rutas de salida (azules) y llegada (rojas) Aeropuerto Eldorado (Aerocivil, 2017)

Mantener la separación entre las aeronaves genera un impacto al modelo de negocio del sector, además de su importancia en la seguridad operacional. Esto debido a que entre más se puedan acercar, va a ser mayor la capacidad del espacio aéreo y el número de aeronaves que ingresan y salen del aeropuerto, lo que significa más operaciones y un mayor dinamismo en la economía global. Se debe encontrar un punto balanceado que permita tener la máxima cantidad de aeronaves en el espacio, pero sin comprometer de ninguna manera su seguridad. Por ello la importancia de la vigilancia con sistemas de última tecnología.

En el espacio inferior se propone usar radares secundarios SSR y Multilateración. Con estas tecnologías, se obtiene la precisión que se necesita en procedimientos realizados dentro de una TMA o en aproximación o despegue de un aeropuerto. Además, la MLAT ofrece redundancia al sistema SSR, y como ambos funcionan con sensores instalados en tierra, la posibilidad de ser un dependiente tecnológico de las tecnologías satelitales desaparece.

Se propone, además, seguir utilizando como respaldo los sistemas de vigilancia primaria PSR. Debido a que el PSR es un sistema de vigilancia no cooperativa, es indispensable para la detección de blancos móviles que no quieren ser identificados, o que no pueden hacerlo debido a alguna falla técnica en su transponder. Cuando se presenta uno de estos casos, el SSR y la MLAT no tienen la capacidad de detectar la aeronave por ser sistemas de vigilancia cooperativa, al igual que el ADS-B que se clasifica como un sistema de vigilancia dependiente. Por ello, el PSR es requerido para escenarios de emergencia o de defensa. Es importante que el Estado mantenga este tipo de sistemas, para que pueda defender la soberanía y la integridad territorial por medio de instituciones como la Fuerza Aérea. Cuando una aeronave no desea ser vista debido a que es usada para

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

actividades ilícitas, o porque desea incursionar ilegalmente desde el exterior, solamente con la vigilancia no cooperativa podrá ser detectada.

## 4. Conclusiones

Se analizaron los sistemas que se usan en la actualidad para la vigilancia aérea en un país como Colombia. De allí se estableció que en Colombia la vigilancia realiza con Radar Primario PSR y Radar secundario SSR, y ya ha iniciado la implementación de la vigilancia dependiente automática en radiodifusión ADS-B.

Se estableció que el Plan de Navegación Aérea PNA-COL de la Aerocivil, se tiene planeada la implementación de ADS-B y de MLAT en el corto y mediano plazo. Esto en concordancia con la evolución tecnológica global orientada por el Plan Mundial de Navegación Aérea de la OACI.

Los radares, poseen un alcance limitado determinado por las condiciones orográficas, que afectan la radiación electromagnética transmitida. El patrón de radiación es rígido, así como su cobertura, ya que las cabezas radar están fijas. Debido a esto, las rutas aéreas deben adaptarse a las zonas de cobertura de los radares.

Un sensor radar hace parte de una estación que consume grandes cantidades de potencia para funcionar. En muchas ocasiones estas estaciones están emplazadas en terrenos lejanos de difícil acceso, lo que dificulta su instalación y mantenimiento, y aumenta los retos logísticos para su operación, además de generar altos costos para el Estado colombiano.

En principio, el sistema ADS-B ofrece ventajas significativas frente a las tecnologías convencionales, por lo que es la llamada a ser la principal herramienta para la prestación de este servicio. El ADS-B no requiere las rígidas y costosas infraestructuras en tierra que sí requieren los sistemas PSR y SSR; el consumo energético es mucho menor; la información transmitida entre la aeronave y el ANSP aumenta de forma importante; la posibilidad de usar ADS-B no solo en aeronaves sino también en vehículos de tierra, aeronaves no tripuladas o cualquier objeto en movimiento que haga parte del sistema, entre otras, son características que la hacen muy atractiva.

Sin importar esto, la realidad es que ADS-B es dependiente de la existencia y correcto funcionamiento de un equipo de abordaje que informe la posición a los equipos de tierra. Además, los datos los debe tomar del sistema de posicionamiento satelital que también debe tener la capacidad de utilizar. Esto hace que se genere el problema que se abordó en el presente capítulo, relacionado con la dependencia tecnológica.

El hecho de que Colombia no posea capacidades satelitales propias, hace que cualquier tipo de tecnología que haga uso de satélites en la órbita, tenga que ser usada por medio de terceros. Así, nuestro país debe contratar el servicio con países o empresas que son potencia mundial como Estados

Unidos, la Unión Europea, Rusia, China. Esto pone a Colombia en un escenario de posible dependencia tecnológica, al estar en manos de los países mencionados.

De acuerdo con lo anterior, en este capítulo se buscó generar una propuesta que permita tener esta evolución tecnológica sin sacrificar los sistemas convencionales que son gestionados autónomamente por el Estado colombiano. Se estudió una manera de integrar las tecnologías nuevas y convencionales, de tal manera que se tengan los beneficios de nuevas tecnologías sin perder la autonomía tecnológica.

Estas conclusiones y la respectiva propuesta están alineada con el Plan de navegación Aérea PNA-COL de la Aerocivil y con SARPS de la OACI que se encuentran en los Anexos al convenio de Chicago, documentos y planes. La propuesta de integración tecnológica y su correspondiente análisis fue presentado en el título 4 de este capítulo.

Este capítulo presenta una revisión documental fundamental para la estructuración de un proyecto de investigación con el que se pretende elaborar una propuesta para las autoridades de aviación en Colombia, que sirva como referencia en la toma de decisiones para la implementación de tecnologías para los ANS, enmarcadas en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030. El proyecto de investigación mencionado se desarrolla actualmente al interior del Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

### Listado de Siglas

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
<i>ADS</i>	Automatic Dependent Surveillance
<i>AIM</i>	Aeronautical Information Management
<i>ANS</i>	Air Navigation Services
<i>ANSP</i>	Air Navigation Services Provider
<i>ATS</i>	Air Traffic Service
<i>BDS</i>	BeiDou Navigation Satellite System
<i>C&amp;PA</i>	Ciencia y Poder Aéreo
<i>CETAD</i>	Centro de Desarrollo Tecnológico para la Defensa
<i>CNS</i>	Communications/ Navigation/ Surveillance
<i>FIR</i>	Flight Information Region
<i>FIR-BOG</i>	Flight Information Region de Bogotá
<i>FIR-BAQ</i>	Flight Information Region de Barranquilla
<i>GANP</i>	Global Air Navigation Plan
<i>GLONASS</i>	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
<i>GNSS</i>	Global Navigation Satellite System
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>IRNSS</i>	Sistema Regional de Navegación por Satélite de India
<i>ISRO</i>	Indian Space Research Organization

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Sigla	Significado
<i>MET</i>	Servicio Meteorológico Aeronáutico
<i>MLAT</i>	Multilateración
<i>OACI</i>	Organización de Aviación Civil Internacional
<i>PEA2030</i>	Plan Estratégico Aeronáutico 2030
<i>PNA-COL</i>	Plan de Navegación Aérea para Colombia
<i>PSR</i>	Primary Surveillance Radar
<i>RADAR</i>	Radio Detection And Ranging
<i>SAR</i>	Search and Rescue
<i>SARPS</i>	Standard And Recommended Practices
<i>SSR</i>	Secondary Surveillance Radar
<i>SUR</i>	Surveillance Service
<i>TMA</i>	Terminal Area

## Referencias

- Aerocivil. (2017). *PNA COL Volumen II. Instalaciones y Servicios. Versión 08*. Bogotá, Colombia: Aeronáutica Civil. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/Documentos%20vigentes/PNA%20COL%20VOL%20II%20V08%2020%20oct%202017.pdf>
- Aerocivil. (2018). *PEA 2030*. Bogotá D.C., Colombia: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/cea/QuienesSomos/Catedra%202030/Resumen%20Ejecutivo%20Plan%20Estrate%CC%81gico%20Aerona%CC%81utico%202030.pdf>
- CSIS. (12 de 2019). *Missile Threat*. Obtenido de North Korean Missile Launches and Nuclear Tests: 1984-Present: <https://missilethreat.csis.org/north-korea-missile-launches-1984-present/>.
- CSIS. (2020). *Space Threat Assessment*. Washington D.C: Center for Strategic & International Studies. Obtenido de <https://www.csis.org/analysis/space-threat-assessment-2020>
- DNP. (2018). *PND 2018 - 2022*. Bogotá D.C., Colombia: Dep. Nacional de Planeación. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PND-Pacto-por-Colombia-pacto-por-la-equidad-2018-2022.pdf>
- EGSA. (10 de 06 de 2020). *European Global Navigation Satellite Systems Agency Web Site*. Obtenido de Galileo EGSA Web Site:

<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>

- Flórez, J. (2014). Apropiación y uso de ADS-B en el CETAD. *Cencia y Poder Aéreo Vol 9*, 125-134. doi:1909-7050
- Gómez, L., & Ortiz, J. (2012). VDL to provide air traffic services in Colombia. En *31st DASC*. Williamsburg, VA. Estados Unidos: IEEE/AIAA. doi:10.1109/DASC.2012.6382375
- Gómez, L. (2014). *Modelamiento y simulación de una subred de enlace de datos en VHF (VDL) para servicios de tránsito aéreo en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: U. Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12861/1/02300610.2014.pdf>
- Gómez, L. (2015). Vigilancia dependiente automática (ADS-B en Colombia. *C&PA*, 21-32. doi:10.18667/cienciaypoderaereo.215
- Gómez, L. (2019). Retos del ecosistema aeronáutico - talento humano. Una mirada hacia la investigación como motor de desarrollo del sector. *Feria Aeronáutica Internacional F-AIR2019*. Rionegro, Antioquia. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/cea/Fair2019/Documents/F-AIR2019%20ING.%20LEONARDO%20RAM%C3%8DREZ.pdf>
- Gómez, L., & Ortiz, J. (2014). Results of a VDL2 simulation in El Dorado Airport. *33rd DASC ISSN: 2155-7195, DOI: 10.1109/DASC.2014.6979442*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/document/6979442/>
- Gómez, L., & Sierra, I. (2015). Implementation of ADS-B in Colombia. En *34th DASC*. Praga, República Checa: IEEE/AIAA. doi:10.1109/DASC.2015.7311362
- Government of India. (30 de 05 de 2020). *Department of Space, ISRO*. Obtenido de IRNSS: NavIC: <https://www.isro.gov.in/irnss-programme>
- GPS. (01 de 06 de 2019). *Official U.S. government information about the GPS and related topics*. Obtenido de GPS: The Global Positioning System: <https://www.gps.gov/>
- ICAO. (12 de 2004). *Eight meeting of the CNS and Meteorology Sub group of APANPIRG*. (I. C. Organization, Ed.) 2004, [www.icao.int/icao/en/ro/apac/2004/cnsmet\\_sg8/ip15.pdf](http://www.icao.int/icao/en/ro/apac/2004/cnsmet_sg8/ip15.pdf)
- ICAO. (2007). *ATM, Doc 4444*. (ICAO, Ed.) Montreal, Canada, Canada: ICAO.
- ICAO. (2007). *Guidance Material on Comparison of Surveillance Technologies (GMST)*. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization Asia and Pacific. Obtenido de [https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/gmst\\_technology.pdf](https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/gmst_technology.pdf)

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

- ICAO. (2017). *Annex 10. Aeronautical Telecommunications. Vol 3*. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization.
- ICAO. (2020). *GANP - Sixth Edition*. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization. Obtenido de <https://www4.icao.int/ganportal/>
- ICAO. (2020). *Guía Vigilancia Global*. Rungis Cedex, Francia: Thales Air Systems. Obtenido de <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ADSBIMP/ADSBIMPP12SP.pdf>
- IntelSat. (20 de 12 de 2019). *IntelSat Website*. Obtenido de About IntelSat: <http://www.intelsat.com/about-us/overview/>
- IntelSat. (21 de 09 de 2020). *IntelSat Regional Satellite Fleet*. (Página oficial de IntelSat) Recuperado el 18 de 04 de 2020, de IntelSat Website: <https://www.intelsat.com/global-network/satellite-network/#intelsat-regional-satellite-fleet>
- Iridium. (21 de 09 de 2020). *Red Global de satélites Iridium*. (Página oficial de Iridium) Recuperado el 18 de 04 de 20, de Página web Iridium: <https://www.iridium.com/network/globalnetwork/>
- MinTransporte. (2019). *Plan Estratégico Sectorial 2019-2022 P.E.S.* Bogotá. D.C, Colombia: Ministerio de Transporte. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/340/pes/>
- Montaña, H., Benavides, O., & Guerrero, C. (2016). Consideraciones para la implementación de ADS-B en Colombia. *Visión Electrónica*.
- OACI. (23 de 03 de 2020). *Página Web Oficial de la OACI*. Obtenido de Acerca de la OACI: [https://www.icao.int/about-icao/Pages/ES/default\\_ES.aspx](https://www.icao.int/about-icao/Pages/ES/default_ES.aspx)
- Ramirez, D., Serrato, J., & Buitrago, S. (2017). *La multilateración, un sistema de vigilancia aeronáutica y su implementación en Colombia*. Bogotá: U. de San Buenaventura.
- ROSCOSMOS. (18 de 06 de 2020). *INFORMATION AND ANALYSIS CENTER FOR POSITIONING, NAVIGATION AND TIMING*. Obtenido de Glonass Status: <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>
- ROSCOSMOS. (19 de 06 de 2020). *Página Oficial Agencia Espacial Rusa - Roscosmos*. Obtenido de CHRONICLE OF SOVIET-RUSSIAN SPACE PROGRAM: <http://en.roscosmos.ru/174/>
- Salazar Gómez, J. C. (07 de 2018). *II Foro 2030 ¿Hacia donde debe ir la aviación en Colombia?* <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/II-FORO2030/Documents/2.%20Presentaci%C3%B3n%20Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Aeron%C3%A1utico%202030.pdf>

- U.S.-China Economic and Security Review Commission. (2015). *2015 Global Counterspace*. Weeden and Samson.
- Vega, R., & Jimenez, J. (2017). *Análisis de cobertura y desempeño de las estaciones ADS-B, como soporte a la implementación en Colombia*. Bogotá D.C, Colombia: Universidad de San Buenaventura. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/165276.pdf>
- Wu, Y., Hu, G., Jin, F., & Zu, J. (2019). A Satellite Handover Strategy Based on the Potential Game in LEO Satellite Networks. (IEEE, Ed.) *IEEE Access*, 7, 133641-133652. doi:10.1109/ACCESS.2019.2941217



## **Sección 3**

### **Resultados Investigación en el Sector Industrial. ECCI**

#### **Capítulo 11**

##### **Panorama del manejo de residuos poliméricos en colombia y una alternativa de aprovechamiento del polipropileno reciclado**

José Luis Sanabria Salazar, Germán Castro Pinto, Sandra P. Romero  
Nieto  
Universidad ECCI

#### **Resumen**

Este capítulo hace un análisis del aprovechamiento de residuos poliméricos, (también llamados plásticos) en Colombia, utilizando la información suministrada por entidades públicas y muestra un ejemplo del reproceso de un material e esta categoría, como lo es el polipropileno reciclado, reforzado con fibra de fique, este material se caracterizó en cuanto al índice de fluidez y el esfuerzo de fluencia, luego de ser sometido a compresión, el comportamiento del material respecto a esta última

propiedad se relacionó con su estructura interna evaluada por SEM (microscopía electrónica de barrido).

**Palabras claves:** polipropileno, reciclaje, aprovechamiento, residuos sólidos

## Abstract

This chapter makes an analysis of the use of polymeric waste (also called plastics) in Colombia, using the information provided by public entities and shows an example of the reprocessing of a material in this category, the recycled polypropylene, reinforced with fique fiber, this material was characterized in terms of flow rate and yield stress, after being subjected to compression, the behavior of the material with respect to this last property was related to its internal structure evaluated by SEM (scanning electron microscopy).

**Keywords:** polypropylene, recycling, reuse, solid waste

## Introducción

Los residuos sólidos se clasifican en: los provenientes de frutas y verduras, que se pueden reutilizar en operaciones de compostaje y los metales, cerámicos y polímeros que se pueden reprocesar para obtener nuevos productos. Este capítulo hace un análisis del aprovechamiento de los residuos poliméricos en Colombia, revisa cifras reportadas por entidades públicas durante los últimos años y plantea alternativas de transformación de los polímeros reciclados para obtener nuevos materiales útiles para diversas aplicaciones.

En el 2018 la comisión europea comunicó una estrategia para reutilizar el material polimérico (también llamado en el lenguaje común “plástico”) en la economía circular, enfatizando la importancia del diseño igual que producción de artículos de este material, obtenidos a partir del reuso, reparación y reciclaje, disminuyendo su producción a partir de recursos fósiles, en armonía con los acuerdos de París, relacionados al cambio climático (World Economic Forum, 2016; Thompson, Charles, & Frederi, 2009; Rajni Hatti, Lars J. , Baozhong , & et, al, 2019).

A nivel mundial, solo el 2% del total de residuos poliméricos se reciclan, en Europa en el año 2016 el 31,1% de los 27,1 millones de toneladas de este

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

material post consumo se reciclaron, el 41,6% se incineraron y el 27,3% se destinaron a la basura (Rajni Hatti, Lars J., Baozhong, & et, al, 2019).

Algunos aditivos que se incorporan en el procesamiento de los polímeros como los antillama, plastificantes y pigmentos, son peligrosos para el medio ambiente, por esta razón durante el reproceso es necesario tomar las medidas necesarias en cuanto al uso de filtros y campanas extractoras. Cuando no se reprocesan los polímeros después de su disposición final, sus compuestos químicos pueden gotear de los desechos plásticos a los vertederos de las aguas subterráneas (Hahladakis, Hazard, & et al, 2018; North & Halden, 2013; Thompson, Moore, Vom Saal, & Swan, 2009).

En Colombia es conocida la preocupación Gubernamental por aumentar el aprovechamiento de los residuos poliméricos, buscando su reproceso para evitar su disposición en los rellenos sanitarios, pero existen limitaciones en el establecimiento de políticas públicas de obligatorio cumplimiento y en el desarrollo tecnológico relacionado al reproceso de estos materiales.

## 2. Revisión de literatura

### 2.1 Los residuos de los materiales poliméricos

Los polímeros que en el lenguaje común son llamados “plásticos”, generalmente provienen del petróleo (Kotiba , Mosab , & Fawaz , 2013), estos materiales son altamente usados en el mundo para muchos artículos que requieren ser económicos, livianos, aislantes térmicos y eléctricos, que no están sometidos en servicio a altas temperaturas, tienen bajas exigencias en propiedades mecánicas, como es el caso de productos del hogar, empaques, juguetería, componentes arquitectónicos, paneles internos de autos y aviones.

Los materiales poliméricos de acuerdo a su comportamiento mecánico y la facilidad en su reprocesamiento se clasifican en: termoplásticos, termoestables y elastómeros; los únicos que se pueden reprocesar para obtener nuevamente el mismo material son los termoplásticos, como el polipropileno, polietileno, PVC, poliestireno (icopor), teflón, etc.

Los termoestables y elastómeros no se pueden reprocesar para obtener el mismo material, la única posibilidad para darle un uso a sus residuos es que se dispongan como relleno o refuerzo de materiales compuestos, ejemplos de materiales termoestables son: las resinas, los pegantes, adhesivos y de los elastómeros son las llantas y los cauchos.

Un ejemplo del aprovechamiento de los elastómeros es la utilización de llanta pulverizada como refuerzo del asfalto, en este caso no se reprocessan las llantas para fabricar nuevamente llantas, sino como refuerzo de otro material.

Los termoplásticos se caracterizan por la posibilidad de ser recuperados y reprocessados para fabricar nuevos componentes del mismo material, es decir se puede reprocessar polietileno proveniente de las bolsas plásticas para fabricar nuevamente polietileno para bolsas plásticas o para otro uso como aislantes eléctricos, ejemplos de los materiales termoplásticos se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35 Resumen de polímeros potencialmente reutilizables.

Material	Usos
Polietileno de alta densidad	Recipientes de jabones líquidos
Polietileno de baja densidad	Bolsas plásticas Recipientes Juguetes Aislamiento de conductores
Polipropileno	Utilizado en la llamada sillas de plástico Recipientes Empaques Jeringas
PVC	Tuberías, calzado, guantes
Poliestireno o icopor	Recipientes de alimentos, artículos para el hogar
PET	Botellas
Teflón	Recubrimientos antiadherentes, sellos, válvulas

El potencial para el reprocesso de los materiales termoplásticos en Colombia es muy amplio, porque estos materiales están presentes en muchos componentes del consumo diario.

De acuerdo a la BBC “más del 90% de los residuos de termoplásticos que existen en la naturaleza, no fueron reciclados ni una sola vez” (BBC, 2017).

Los polímeros reprocessados pueden ser también utilizados como matriz de materiales compuestos, por ejemplo: termoplásticos reforzado con fibras sintéticas como la fibra de vidrio, la fibra de carbono o el kevlar o fibras naturales como el fique, cáñamo, guadua, bambú; estas últimas, son más livianas y su costo de producción es menor que las sintéticas (D. & Jog, 1999).

Los materiales compuestos que utilizan polímeros como matriz son usados en el sector automotriz y aeronáutico en aplicaciones como: los tableros, puertas, pisos y los marcos de las ventanas, sus altas propiedades mecánicas, la resistencia al ataque químico asimismo su baja densidad favorecen su uso (George, Chae, & Bressler, 2016; Estados Unidos Patente n° US 2012/0148824 A1, 2012; R. Z. & Gutiérrez, 2005; Muñoz Velez, Hidalgo Salaza, & Sulmina Hernandez, 2014), en el sector automotriz estos materiales los han utilizado Mercedes-Benz, Toyota y Mitsubishi (K., Silva

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

, & Fontul, 2013) y en la industria aeronáutica están presentes en las patentes que titulan estos materiales como compuestos verdes.

La preferencia en el uso de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales comparada con las fibras sintéticas como la fibra de vidrio, radica en que la manipulación de esta última, causa irritación en la piel, los ojos y las vías respiratorias, en algunos casos causa erupción cutánea; si se ingiere puede ocasionar afecciones gastrointestinales, mientras que las fibras naturales no son tóxicas en el momento de su manipulación; por otro lado las fibras naturales son 45 al 80 por ciento más económicas, su producción gasta menos energía y son de 15% a 30%, más livianas que la fibra de vidrio, lo que ahorra el uso de combustible y la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Estados Unidos Patente n° US 2012/0148824 A1, 2012).

Cuando se refuerza una matriz polimérica con fibras naturales para obtener un material compuesto, es necesario tratar químicamente la fibra para aumentar la adherencia a la matriz e incrementar sus propiedades mecánicas (Jawaid, Khalil, & H, 2011).

## **Metodología**

Este trabajo se desarrolló en dos etapas:

### **Etapla 1 Análisis del panorama del manejo de residuos poliméricos en Colombia y Bogotá.**

Se realizó el análisis comparativo de la generación y aprovechamientos de los residuos poliméricos respecto a otros materiales como el papel, cartón y metales en Colombia particularmente en Bogotá. Con base en la información analizada se planteó la etapa 2

### **Etapla 2 Una alternativa para reprocesar un residuo sólido polimérico (polipropileno reciclado PP)**

Se realizó un trabajo experimental del reproceso del polipropileno reciclado (PP) reforzado con diferentes combinaciones de una fibra natural

de fácil adquisición en Colombia, como lo es la fibra de fique, luego de revisar varias investigaciones que utilizan fibras naturales como refuerzo de polímeros termoestables y que han mejorado las propiedades mecánicas (Muñoz Velez, Hidalgo Salaza, & Sulmina Hernandez, 2014; D. & Jog, 1999; George, Chae , & Bressler, 2016; K. , Silva , & Fontul, 2013; R. Z. & Gutiérrez, 2005).

Se planteó en este trabajo reforzar el PP con fibra de fique, aunque este último pertenece a los termoplásticos y no a los termoestables. La fibra de fique fue tratada químicamente con hidróxido de sodio (NaOH), propóxido de titanio (PT), aminopropiltrimetoxisilano (APS), como agentes de acoplamiento para incrementar la adherencia entre matriz y refuerzo.

El reproceso del PP se realizó siguiendo cuatro pasos:

1. Caracterización preliminar del PP en cuanto al índice de fluidez
2. Tratamientos de la fibra de fique y conformado del PP y PP reforzado con fibra de fique
3. Caracterización en cuanto al esfuerzo de fluencia a compresión de los materiales conformados
4. Caracterización morfológica de los materiales conformados.

#### 1. Caracterización preliminar del PP en cuanto al índice de fluidez

Cada muestra utilizada para realizar el ensayo de índice de fluidez correspondía a 5 g de pellets de PP que fueron acondicionadas previamente de acuerdo a ASTM D 618 a 23°C +/- 2 y 50 % +/- 5 de humedad relativa por 40 horas.

La caracterización del índice de fluidez en las muestras se realizó de acuerdo a ASTM D1238, procedimiento A, el ensayo se realizó en un plastómetro que operó a 230 °C con una carga de 2,16 Kg por un tiempo de 1 minuto, para realizar el ensayo se utilizaron cinco réplicas.

2. Tratamientos químicos de la fibra de fique además de eso conformado del PP y PP reforzado con fibra de fique.

La tabla 36 muestra las condiciones de tratamiento de la fibra de fique y la notación del material de acuerdo a la combinación realizada en el conformado.

El conformado del material se realizó por moldeo por compresión en una proporción de 75% de PP y 25 % de las fibras de fique (unidireccionales), la temperatura de conformado fue de 200 °C, las muestras conformadas eran cilindros de 10 mm de diámetro y 20 mm de altura, el tiempo del proceso fue 10 minutos por muestra.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Tabla 36 Las condiciones de tratamiento de fibra de fique y el conformado del material.

Material conformado	Condiciones de tratamiento de la fibra de fique	Notación del material
100% polipropileno reciclado	No aplica fibra	PP
Polipropileno recuperado + fibra de fique virgen	Fibra secada a 100 °C por 2 horas	PP + (fique virgen)
Polipropileno recuperado + fibra de fique con tratamiento de NaOH	Temperatura de tratamiento: 25 °C En solución de NaOH al 2% en agua destilada, tiempo de tratamiento de la fibra 20 minutos.	PP+ (fique NaOH)
Polipropileno recuperado + fibra de fique tratada con aminopropil trimetoxisilano	Fibra pretratada con la solución de NaOH y con tratamiento adicional de trimetoxisilano, tiempo de reacción 20 minutos a temperatura ambiente	PP + (fique APS)
Polipropileno recuperado + fibra de fique tratada con propóxido de titanio	Fibra pretratada con la solución de NaOH y con tratamiento adicional de propóxido de titanio en una concentración al 2 % disuelto en metanol, tiempo de reacción 20 minutos a 80°C.	PP+ (fique PT)

3. Caracterización en cuanto a las propiedades mecánicas a compresión de los materiales conformados

El material compuesto se evaluó a compresión en una máquina universal de ensayos Tinius Olsen con 10 KN de capacidad de carga, el ensayo se realizó de acuerdo a ASTM D 695, las probetas de ensayo tenían 10 mm de diámetro y 20 mm altura, el ensayo se realizó utilizando cinco réplicas y la velocidad de carga del ensayo fue de 50 mm/min.

4. Caracterización morfológica del material

La caracterización morfológica que evidencia la adherencia entre matriz y refuerzo se realizó utilizando la técnica de microscopía electrónica de barrido utilizando 15 KV de energía de excitación de los electrones, las microestructuras se tomaron en la región de interfase entre matriz y refuerzo, se tomaron tres réplicas por muestra.

## 4. Discusión

### **Análisis del panorama del manejo de residuos poliméricos en Colombia**

De acuerdo al informe del Departamento Nacional de Planeación DNP del año 2017 (DNP, 2017) . La ciudad que presenta el menor aprovechamiento de los residuos generados a nivel Nacional es Bogotá, seguido de Medellín y Cartagena, existe un alto

potencial de aprovechamiento de residuos sólidos en estas ciudades.

Las altas cifras de residuos generados en Bogotá y Medellín pueden deberse a su importancia en el desarrollo económico del país, Cartagena produce un alto valor en toneladas generadas debido al turismo, aspecto que incrementa el consumo. El desarrollo sostenible debe tener en cuenta tres objetivos: el crecimiento económico, la equidad social también la sustentabilidad ambiental, aspectos que se deben relacionar entre sí. (Dourojeanni, 2000), cuando se presentan comportamientos como el mostrado en la figura 1 en Bogotá, Medellín y Cartagena, se hace evidente que en estas ciudades no hay un desarrollo sostenible, porque la sustentabilidad ambiental no se está dando.

En el 2011 de las 312 empresas dedicadas al reciclaje de plásticos en Colombia, el 54% realizaban su actividad económica en Bogotá, a sus alrededores y de éstas 39 se dedican a labores de recuperación post industria y post consumo (Sarmiento, Rocha, & Cubillos, 2011).

En el año 2016 a nivel Nacional, el mayor aprovechamiento de residuos sólidos se presentó en el papel, el cartón y la chatarra, los plásticos ocuparon el tercer lugar (DNP, 2017)

En la familia de residuos plásticos se encuentran los residuos eléctricos y electrónicos (RAEE), en el año 2013 el Congreso de la República estableció la Ley1672 que estipula que este tipo de residuos son de “manejo diferenciado” y prohíbe su disposición final en rellenos sanitarios (Secretaría Distrital de Ambiente,2016). En el 2010 Bogotá generó 21.959 toneladas de RAEE, de las cuales tan solo 1.400 fueron tratadas por empresas autorizadas para su manejo.

El 39,8 % de los RAEE se generaron a partir de neveras y lavadoras, el 38,7 % de los equipos de sonido, televisores, hornos, reproductores de DVD y licuadoras y el 18,5 de computadores y celulares. El plástico que predomina en los RAEE es el Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), presente en las carcasas de electrodomésticos, teléfonos, computadores, cascos, paneles interiores, juguetería, instrumentos musicales y equipos de oficina (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016).



## **Análisis del panorama del manejo de residuos poliméricos en Bogotá**

El informe del estudio de reciclaje y aprovechamiento sostenible de la UAESP (UAESP, 2019, pág. 12) , muestra que los plásticos ocupan el segundo lugar en participación de los residuos sólidos generados en la ciudad de Bogotá con una participación del 17 %, lo que significaría que estos materiales tienen un potencial aprovechamiento, por esta razón en la etapa 2 de este trabajo se plantea una alternativa para reprocesar este tipo de material.

En el año 2016, Bogotá reportó el 80.3% del total de residuos sólidos aprovechados en Colombia (DNP, 2017) y se calculó que más del 50 % de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario Doña Juana son potencialmente aprovechables y están integrados por: polímeros, metales, papel y cartón (UAESP, 2019).

## **Reproceso de un residuo sólido polimérico (polipropileno PP)**

La Ilustración 92 muestra los datos del esfuerzo a la fluencia del PP y sus combinaciones con fibra de fique.

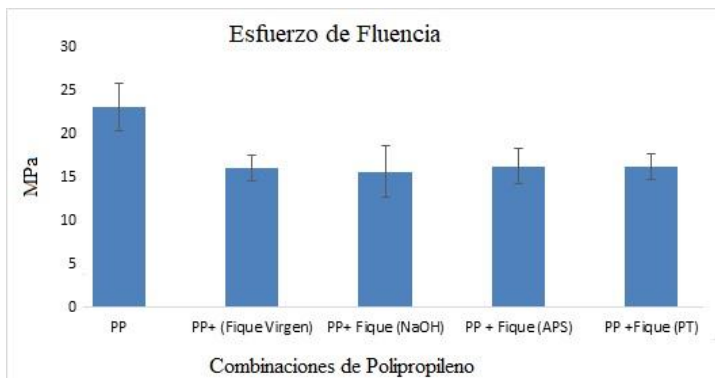


Ilustración 92 Esfuerzo de fluencia para el PP y sus diferentes combinaciones con fibra de

Para evaluar el comportamiento mecánico, a esfuerzos de compresión de un material termoplástico o en compuestos de matriz termoplástica, es necesario tener en cuenta el esfuerzo de fluencia, ya que estos materiales por ser muy dúctiles, en servicio inician una deformación permanente al sobrepasar este esfuerzo.

De acuerdo a la figura 1 el material que presentó el mayor valor de esfuerzo de fluencia es el PP, sin adición de fibra de fique, la razón de la disminución del valor de esta propiedad al adicionar fique puede deberse a las discontinuidades entre matriz y refuerzo, mostradas en las imágenes de SEM del material reforzado con fique de la figura 2, en este caso las fibras no actúan como refuerzo sino como una interrupción de la estructura provocando discontinuidades en el material que originan la deformación plástica prematura al someterlos a esfuerzos de compresión.

En el 2016 se calculó que más del 50 % de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario Doña Juana son potencialmente aprovechables, están integrados por: polímeros, metales, papel y cartón (UAESP, 2019).

Reproceso de un residuo sólido polimérico (polipropileno PP)

La gráfica 90 muestra los datos del esfuerzo a la fluencia del PP y sus combinaciones con fibra de fique.

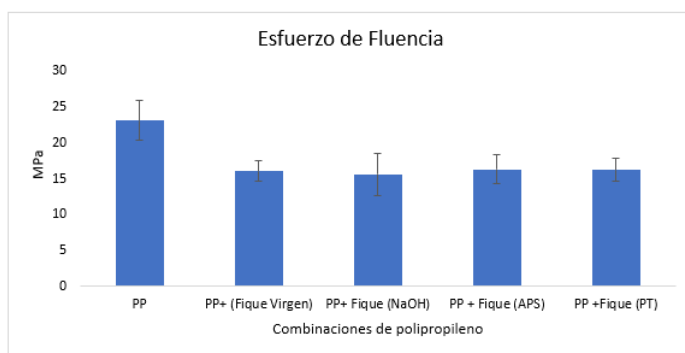


Ilustración 93 Esfuerzo de fluencia para el PP y sus diferentes combinaciones con fibra de fique.

Para evaluar el comportamiento mecánico, a esfuerzos de compresión de un material termoplástico o en compuestos de matriz termoplástica, es necesario tener en cuenta el esfuerzo de fluencia, ya que estos materiales por ser muy dúctiles, en servicio inician una deformación permanente al sobrepasar este esfuerzo.

De acuerdo a la figura 21 el material que presentó el mayor valor de esfuerzo de fluencia es el PP, sin adición de fibra de fique, la razón de la disminución del valor de esta propiedad al adicionar fique puede deberse a

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

las discontinuidades entre matriz y refuerzo, mostradas en las imágenes de SEM del material reforzado con fique de la figura 91, en este caso las fibras no actúan como refuerzo sino como una interrupción de la estructura provocando discontinuidades en el material que originan la deformación plástica prematura al someterlos a esfuerzos de compresión.

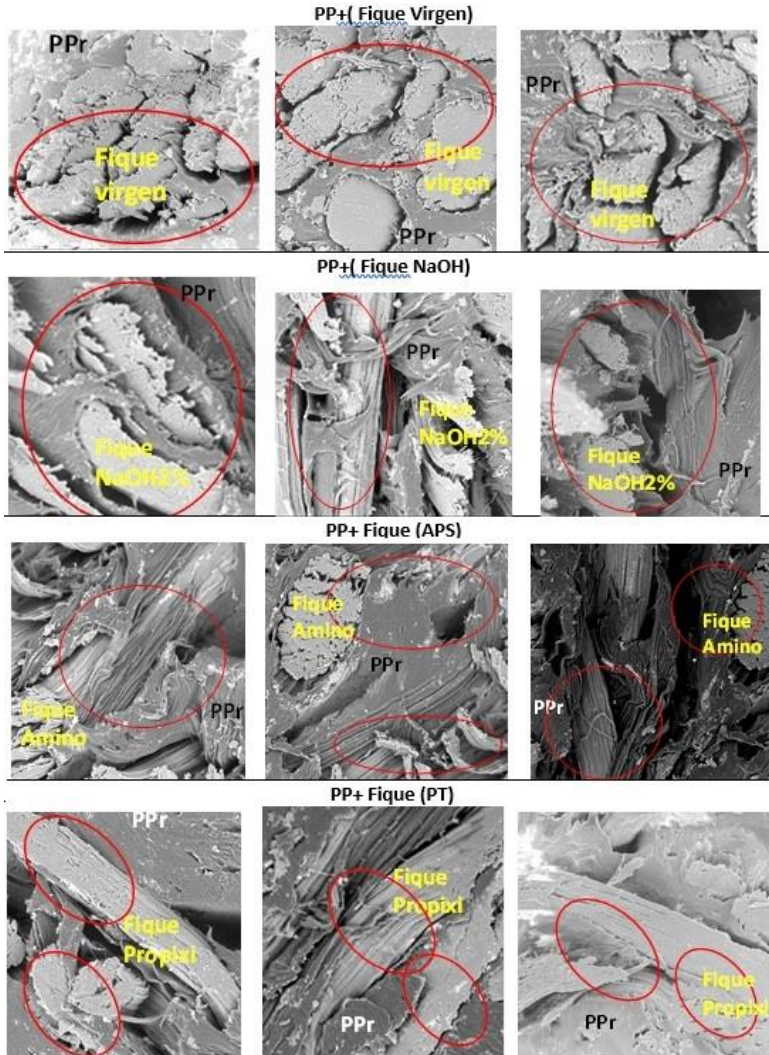
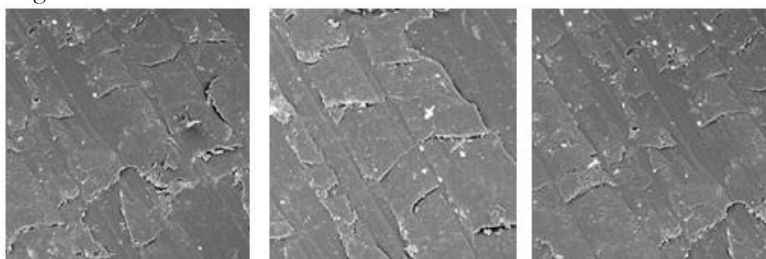


Ilustración 94 Microestructuras de PP reforzado con fibra de fique con los diferentes tratamientos químicos, imágenes tomadas por SEM a 430 x. PPr (Matriz de polipropileno).

El material que tenía 100 % PP, aunque no tenía refuerzo presentó el mayor valor de esfuerzo de fluencia y la menor discontinuidad evidenciada en la figura 7.



*Ilustración 95 Microestructuras de PP. Imágenes tomadas por SEM a 430 X.*

La falta de adherencia entre la matriz de polipropileno y la fibra de fique se debió a la falta de impregnación entre la matriz de PP y la fibra, esta falta de impregnación pudo deberse al bajo valor del índice de fluidez presentado en el PP reciclado, como se muestra en el valor promedio mostrado en la tabla 37

Los datos del índice de fluidez del polipropileno reciclado PP se muestran en la tabla 37.

Tabla 37 Resultados del índice de fluidez para el polipropileno reciclado.

<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Índice de fluidez (g/10 min)</b>
<b>1</b>	0,4617	4,617
<b>2</b>	0,4969	4,969
<b>3</b>	0,4818	4,818
<b>4</b>	0,4862	4,862
<b>5</b>	0,5002	5,002
<b>Promedio</b>	<b>0,48536</b>	<b>4,8536</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0,01521982</b>	<b>0,152198226</b>
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>3,13578016</b>	<b>3,135780163</b>

El índice de fluidez promedio de 4,8 (g/10 min) encontrado en el PP, es típico de los materiales reprocesados, siendo un valor más bajo que el típico del polipropileno virgen que oscila entre 8 -20g/10 minutos (Braskem, 2018; Polnac, 2020).

Aumentar el índice de fluidez del polipropileno puede incrementar el poder de impregnación de este material con la fibra de fique porque disminuiría su viscosidad (Spicker, Rudolph, Kühnert, & et, al, 2019), la razón de la poca adherencia entre la matriz y el refuerzo posiblemente se

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

debió al bajo índice de fluidez del material, lo que imposibilitó la correcta impregnación de la fibra de fique con el PP y redujo el esfuerzo de fluencia del material compuesto

## Conclusiones.

En el año 2016, a nivel Nacional, la ciudad que presentó el menor aprovechamiento de los residuos generados en Colombia fue Bogotá (más del 50 % de residuos sólidos que ingresaron al relleno sanitario Doña Juana eran potencialmente aprovechables), los residuos poliméricos ocuparon el tercer lugar en aprovechamiento a nivel nacional, estos datos muestran que existe un alto potencial de aprovechamiento de estos residuos en Bogotá, que es necesario trabajar desde la investigación y la inversión para encontrar estrategias técnicas que optimicen su aprovechamiento.

Los polímeros reciclados tienen menor índice de fluidez que los vírgenes, lo que aumenta la viscosidad del polímero aparte de eso disminuye la impregnación a posibles refuerzos, limitando su utilización como matrices de materiales compuestos, el índice de fluidez se puede modificar por medio de tratamientos químicos que se pueden plantear en futuros trabajos de investigación.

## 6. Bibliografía

Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical transactions of the royal society B*, 2153-2166.

BBC. (20 de junio de 2017). Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina: la advertencia de un grupo científicos sobre la contaminación que acecha al nuestro planeta. BBC Mundo. Obtenido de BBC. News mundo: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-40664725>

Braskem. (2018). Ficha técnica del polipropileno PH0950. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/PH%200950-esMX-ASTM.pdf

D., N. S., & Jog, J. P. (1999). Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*, 18, 351-63.

DNP. (10 de 12 de 2017). Informe Nacional de Aprovechamiento. Informa Nacional - 2016. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Pagina Web de la And:

<http://www.andi.com.co/Uploads/22.%20Informa%20de%20Aprovechamiento%20187302.pdf>

Dourojeanni, A. (2000). Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable. Santiago de Chile: CEPAL.

George, M., Chae, M., & Bressler, D. (2016). Composite materials with bast fibres: Structural, technical, and. *Progress in Materials Science*, 83, 1-23.

Hahladakis, J., Hazard, J., & et al. (2018). An overview of the chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Mater.*, 179-199.

Jawaid, M., Khalil, A., & H, P. S. (2011). Cellulosic/synthetic fiber reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1-18.

K., G., Silva, A., & Fontul, M. (2013). Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites: Part B*, 120-127.

Kotiba, H., Mosab, K., & Fawaz, D. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, 2801-2812.

Muñoz Velez, M. F., Hidalgo Salaza, M. A., & Sulmina Hernandez, J. H. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 60-70.

North, E., & Halden, R. (2013). Plastics and environmental health: the road ahead. *Reviews on Environmental Health*, 1-8.

Polnac. (2020). Ficha técnica del polipropileno PPF20V2-NE.

R. Z., J., & Gutiérrez, G. (2005). Influencia del Tratamiento con Vapor Sobre la Estructura y Comportamiento Físico-Mecánico de Fibras de Plátano. *Información Tecnológica*, 16, 15-21.

Rajni Hattí, K., Lars J., N., Baozhong, Z., & et, al. (2019). Designing Biobased Recyclable Polymers for Plastics. *Trends in Biotechnology*, 1-18.

Sarmiento, A., Rocha, G., & Cubillos, R. (2011). Caracterización de la actividad de reciclaje de Bogotá. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Secretaria Distrital de Ambiente. (7 de noviembre de 2016). Observatorio Ambiental de Bogotá. Obtenido de <http://oab.ambientebogota.gov.co/recoleccion-de-desechos-electronicos/>

Spicker, C., Rudolph, N., Kühnert, I., & et, al. (2019). The use of rheological behavior to monitor the processing and service life properties of recycled polypropylene. *Food Packaging and Shelf Life*, 174-183.

Thompson, R. C., Charles, J. M., & Frederi. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical transactions of the royal society*, 1-14.

UAESP. (10 de diciembre de 2019). Proyecto de reciclaje y aprovechamiento sostenible PREAS. Bogotá: UAESP. Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. Obtenido de Pagina Web UAESP: <http://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/Documento%20Soporte%20PRAS%20Versio%CC%81n%20definitiva.pdf>

World Economic Forum. (2016). The New Plastics Economy rethinking the future of plastics. Committed to improving state of the world.

La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

## Capítulo 12

# Capital Social como Agente Incidente en el Desarrollo Empresarial

Manuel Fernando Cabrera Jiménez  
Luz Stella García Monsalve

## Resumen

El presente artículo surge del proyecto de investigación: “Software para la medición de capital social en organizaciones medianas del sector servicios”, que permitió analizar la construcción de capital social en empresas de tamaño mediano, desde la perspectiva de las relaciones internas y del entorno, a partir de los vínculos de confianza, del reconocimiento de la normatividad y de las estrategias de comunicación. El proyecto se desarrolló a través de una investigación descriptiva, con un diseño metodológico abordado desde las etapas de la construcción del marco teórico, diseño y aplicación de instrumentos, análisis de la información y resultados, se construyeron indicadores para cada uno de los ámbitos en función del análisis de la correlación presente entre ellos. Como conclusión se identificó que el capital social tiene incidencia en la productividad y desarrollo de las organizaciones, sin embargo, su apropiación no se presenta de manera uniforme en sus tres grandes dimensiones.

**Palabras clave:** Desarrollo empresarial, capital social, productividad.



## **Social capital as an incident agent in business development**

### **Abstract**

This book chapter emerges from the research project: “Software for measuring social capital in medium-sized organizations in the services sector”, which allowed analyzing the construction of social capital in medium-sized companies, from the perspective of internal relations and environment, based on the bonds of trust, recognition of regulations and communication strategies. The project was developed through a descriptive investigation, with a methodological design tackled from the stages of the construction of the theoretical framework, design and application of instruments, analysis of the information and results, indicators were constructed for each of the areas in function of the analysis of the correlation present between them. In conclusion, it was identified that social capital has an impact on the productivity and development of organizations, however, its appropriation is not presented uniformly in its three large dimensions.

**Keywords:** Business Development, social capital, productivity.  
Introducción

### **Introducción**

El capital social surge como un campo desde la sociología y las ciencias económicas a mediados del siglo XX, se basa en la asociatividad y permite beneficios colectivos. Siguiendo a Putnam (1993) y Narayan (2002) se ha observado que las organizaciones y sociedades con mayor nivel de capital social logran mayor desarrollo que aquellas que carecen de él. En este sentido, el capital social es un valor diferenciador de las organizaciones, se soporta en las relaciones creadas al interior de éstas y su entorno, basadas en confianza, solidaridad, respeto por las normas, entre otras características.

El desarrollo de la investigación aborda como problemática central la identificación de existencia (stock) e incidencia del capital social en el desarrollo empresarial en el contexto

de la Localidad de Chapinero en la ciudad de Bogotá, D.C., considerando la dimensión del capital social cerrado, que busca comprender la integración y desarrollo de relaciones establecidas entre personas y organizaciones que tienen fines propios del círculo generado entre ellos, lo cual facilita la consolidación de los equipos de trabajo a nivel de alta gerencia y de gestión operacional, así mismo, potencializa las relaciones productivas basadas en confianza, normatividad, y niveles de cohesión que inciden en la competitividad empresarial y de esta forma optimizan los costos de transacción (Cardona, 2016).

Según datos de la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), con base en el último censo empresarial realizado en 2008, en la localidad de Chapinero están registradas 19.128 unidades productivas de diferentes tamaños, sectores económicos y tiempos de antigüedad. El 17,5% tiene una antigüedad entre 5 y 10 años del total de las empresas. Para la investigación se abordó como universo las empresas ubicadas en la Unidad de Planeación Zonal UPZ (Chapinero), que alberga un 26.3% del censo total de la localidad a nivel empresarial, allí se ubican 819 empresas con una antigüedad entre 5 hasta 10 años, de las cuales se consideraron 218 empresas de tamaño mediano para la muestra.

El enfoque de la investigación es descriptivo con análisis cuantitativo, se tomó la muestra y se aplicó una encuesta estructurada y entrevistas en profundidad que a través de un análisis de correlación de variables se pudo determinar el acumulado de capital social al interior de las organizaciones, así como su nivel de articulación y asociatividad entre ellas y su significancia en términos de productividad. El instrumento se estructuró en 3 grandes dimensiones denominadas: capital social cognitivo, capital social estructural, productividad y sociedad.

## **Fundamento teórico**

El capital social inició una evolución teórica y conceptual desde la década de los años sesenta en el contexto de las ciencias económicas, permitiendo la identificación de dos corrientes conceptuales denominadas estructural y cultural (Bolívar & Elizalde, 2011), que se asumen como dimensiones en el trabajo de campo.

El enfoque estructural, se fundamenta en los aportes de Bourdieu (1988) y Coleman (1991) a partir de la articulación de recursos disponibles y potenciales que se disponen en una red institucionalizada basada en los niveles de confianza, identificación de las normas y auto reconocimiento de sus miembros. Además, dentro del capital social comunitario, se centra en el análisis de relaciones en un grupo social, el cual se expresa a partir del

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

desarrollo de redes entre diferentes actores que reconocen las normas como base de relaciones que fomentan las capacidades de los grupos (Neyra, Lacalle-Calderón, & Portela, 2016), el capital social estructural logra incrementarse a partir del reconocimiento del sujeto por hacer parte de una red, identificando las potencialidades que generan los nexos base de las relaciones existentes.

Bajo la perspectiva el capital social cognitivo es inherente a las redes de interacción de individuos, más allá de la esfera y los intereses que produzca dicha interacción, asumiendo que todo tipo de relación crea en mayor o menor grado capital social (Ayaviri, Quispe, & Borja, 2017). Según López (2015), el capital social estructural permite la acción colectiva mutuamente beneficiosa, mientras que el cognitivo conlleva a la gente a tomar postura a favor de decisiones colectivas que impacten el grupo social.

El enfoque cultural, desde la perspectiva de Putnam, plantea que el capital social, se basa en la confianza como elemento primordial, de esta forma destaca como se constituye a partir del desarrollo de acciones informales mismo que formales de relaciones comerciales y cívicas, “la confianza es un componente esencial del capital social tal como Kenneth Arrow ha observado quien argumenta que toda transacción comercial tiene en sí misma un voto de confianza; es obvio que se trata de una transacción realizada en un periodo de tiempo” (Putnam, 2003, pág. 216).

El enfoque cultural del capital social se respalda desde factores históricos culturales y educativos del individuo, comportamientos que inciden en la construcción de las relaciones sociales en un conglomerado social, estimulando la generación de capital social, a partir del fortalecimiento de confianza, manifestada en la concreción de vínculos a nivel formal e informal entre sujetos e instituciones, lo que promueve entornos propicios para la creación generación de vínculos reconocidos colectivamente (García-Vita, 2017).

La perspectiva cultural asume el capital social como un constructo dinámico creado a partir de las relaciones establecidas conscientemente en la sociedad (Dorado, 2017), considerando este como un atribuido de una comunidad, que basado en confianza, reciprocidad y solidaridad fomentan la civilidad y la construcción de tejido social a partir del reconocimiento de normas y valores colectivas de recíproca identificación. Todo grupo social que disponga de stock de capital social, dispone de mejores posibilidades para acceder a otros recursos entre ellos conocimiento, participación en redes y mejor calidad de vida (Ibañez, Mujica, Castillo, 2017).

Siguiendo a Granovetter (1973), los vínculos generados en las redes construyen un aporte significativo a la identidad de los grupos y al logro común. Este tipo de vínculos son susceptibles de fomentar en algunos casos el interés particular, especialmente en procesos de integración horizontal, fenómeno denominado por algunos autores como capital social puente o *Briging Woolcock, M., & Narayan (2000)*.

Bourdieu (2000) propone que el capital social se asume como un capital que reconoce en el desarrollo económico la importancia en la distribución

de los recursos y se convierte en un conocimiento de índice en el desarrollo de una sociedad (Richardson, 1986, pág. 77).

En este sentido, Cabrera (2017) identifica que el capital social coexiste con otras formas de capital por intermedio de los cuales se puede legitimar y visibilizar articulado al capital financiero físico y humano que acumule un grupo social o colectividad este constructo beneficia a quien genera capital social como fuente y a la vez a la población esfera de influencia.

El capital social al igual que otros tipos de capital como ya se ha argumentado, tiene incidencia en la productividad y a la vez en la construcción de cultura e identidad endógena, de un colectivo o grupo social, haciendo posible la concreción de finalidades que impacten en un grupo cuyos miembros se encuentran cohesionados y confían unos en otros (Pizzio, 2018).

## Metodología

La investigación es de tipo descriptivo, donde predomina el análisis cuantitativo. Se realizaron las siguientes etapas en el desarrollo del proyecto:

**Construcción del marco teórico:** Se seleccionó la información relacionada con el Capital social cognitivo, capital social estructural y Productividad y Sociedad, se consideraron los autores más relevantes.

**Diseño de instrumentos:** Se diseñó un instrumento fundamentado en la encuesta del Banco Mundial, específicamente en su apartado relacionado con redes; se realizaron 46 preguntas (ver tabla 38), algunas de tipo Si, No, No sabe y no responde y otras clasificadas en una escala muy bajo a muy alto. Las preguntas fueron clasificadas según el tipo de capital social del estudio.

**Aplicación de instrumentos:** Se aplicaron los instrumentos en 218 empresas de tamaño mediano (con un rango de empleados de 51 a 200) de la localidad de Chapinero en la ciudad de Bogotá.

**Análisis de la información:** Para este proceso se realizó un análisis estadístico con correlación Bivariado para determinar la relación entre los componentes de las dimensiones estudiadas: capital social cognitivo, capital social estructural y productividad y sociedad.

**Resultados:** Inicialmente se hizo un análisis estadístico para evaluar tres ámbitos en las empresas encuestadas: capital social cognitivo, capital social estructural y productividad. Se construyeron indicadores para cada uno de los ámbitos en función del análisis de la correlación presente entre ellos.

## Resultados

La tabla 38 presenta un análisis estadístico de cada uno de los ámbitos del capital social estudiado. Las distribuciones de los indicadores presentan datos influyentes en ambos extremos, dado que su intervalo está entre [0, 1]. Se puede verificar el coeficiente que mejor se ajusta a cada análisis correlacional.

Tabla 38 Resultados estadísticos de los tipos de capital social. Fuente: elaboración propia.

Resultados Estadísticos				
		Indicador capital social cognitivo	Indicador capital social estructural	Indicador productividad y sociedad
N Valido		218	218	218
N perdidos		0	0	0
Media		0.71	0.55	0.61
Mediana		0.73	0.55	0.64
Des. Est.		0.13	0.09	0.19
Mínimo		0.27	0.27	0.00
Máximo		0.96	0.82	1.00
Percentiles	10	0.54	0.45	0.36
	25	0.63	0.50	0.47
	50	0.73	0.55	0.64
	75	0.80	0.61	0.75
	99	0.95	0.80	0.94

Los gráficos 22 y 23 muestran la percepción del capital social cognitivo en las empresas encuestadas que en general es alta (media igual a 0.71), con excepción de algunos resultados atípicos de nivel bajo, lo que genera asimetría a la izquierda, razón por la cual, se deben incentivar las relaciones verticales en menor medida que las horizontales.

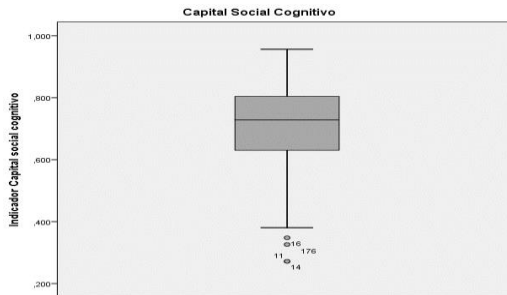


Ilustración 96 Indicador capital social cognitivo. Fuente: elaboración propia.

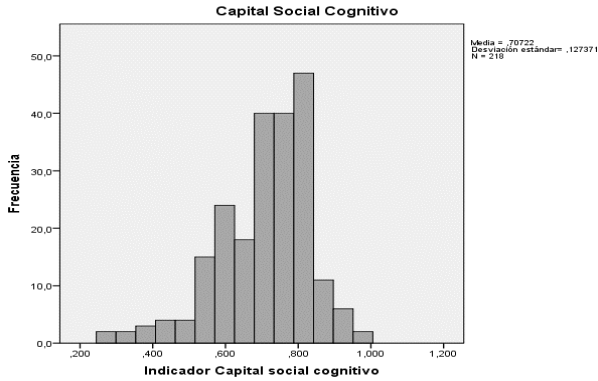


Ilustración 97 Indicador de la frecuencia del capital social cognitivo. Fuente: elaboración propia.

Los gráficos 24 y 25, muestran que en la distribución del capital social estructural es evidente la presencia de apuntalamiento, lo que genera valores atípicos en ambos extremos y/o colas. Está es una situación contraria a la presentada en el ámbito cognitivo, es decir, existen empresas con baja percepción de capital social (media igual a 0.55) con un alto grado de simetría.

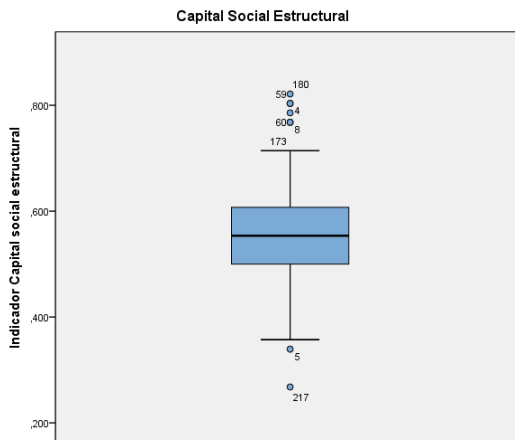


Ilustración 98 Indicador del capital social estructural. Fuente: elaboración propia.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

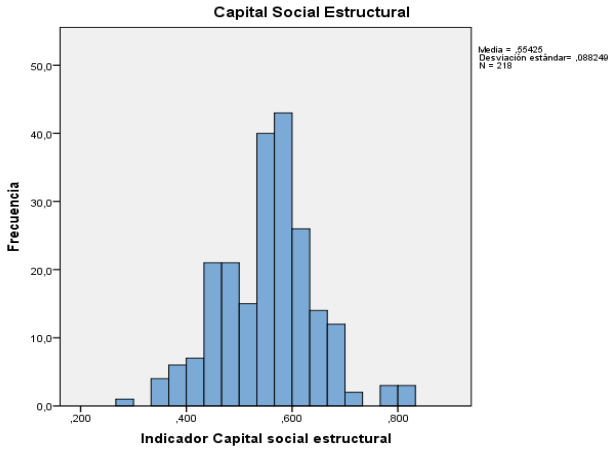


Ilustración 99 Indicador de la frecuencia del capital social estructural. Fuente: elaboración propia.

La distribución para el indicador de productividad y sociedad es más uniforme, solo tiene presencia de un dato atípico (inferior), picos de puntuaciones bajas, y es bastante simétrica, con media aproximada de 0.6. Si bien no es posible establecer causalidades entre capital social y productividad, los resultados evidencian la necesidad de complementar con un estudio de cohortes para dilucidar mejor la relación entre ambos. En general la percepción de productividad es alta (media igual a 0.614).

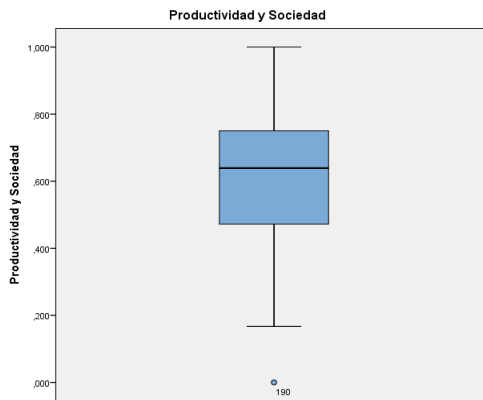


Ilustración 100 Indicador del capital social de productividad y sociedad. Fuente: elaboración propia.

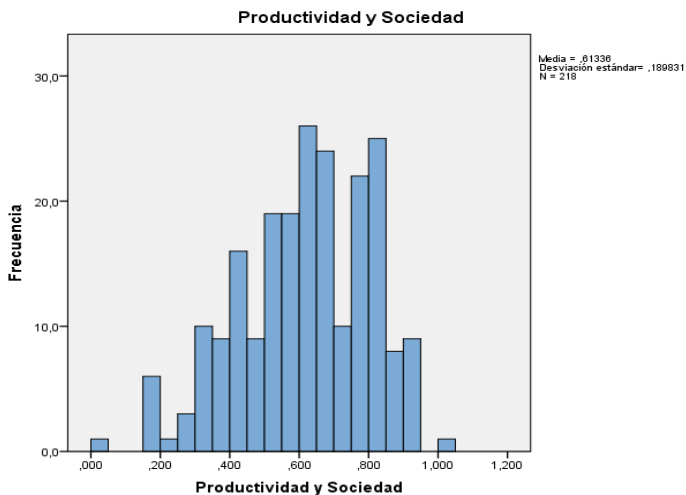


Ilustración 101 Indicador de la frecuencia de productividad y sociedad. Fuente: elaboración propia.

## Correlaciones Bivariados

En el estudio se utilizaron correlaciones bivariados entre cada uno de los indicadores y se utilizó el coeficiente de Spearman debido a la presencia de datos atípicos. La tabla 39 presenta las correlaciones entre los indicadores de capital social, las cuales son positivas en su totalidad.

Tabla 39 Matriz de correlaciones. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Fuente: elaboración propia.

Matriz de Correlaciones			
	Capital social cognitivo	Capital social estructural	Productividad y Sociedad
Capital social cognitivo	1	,402**	,515**
Capital social estructural	,402**	1	,297**
Productividad y Sociedad	,515**	,297**	1



## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

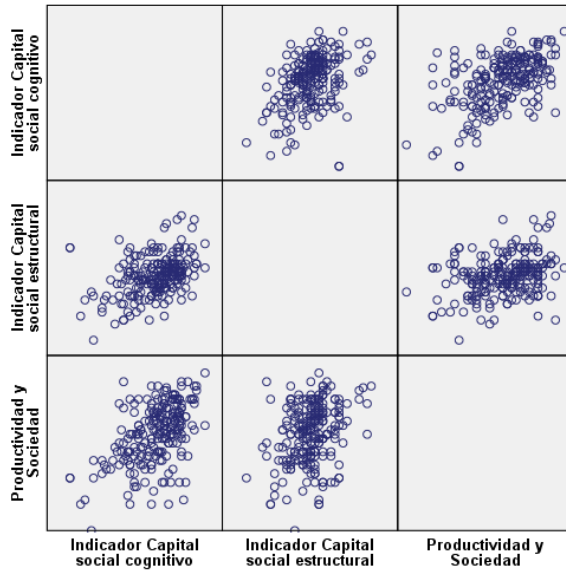


Ilustración 102 Matriz de dispersión que representa el capital social. Fuente: elaboración propia.

Los resultados del estudio correlacional entre los diferentes ámbitos evaluados en la encuesta muestran que las relaciones son directamente proporcionales y significativas a un nivel de 0,05.

Dichas relaciones pueden clasificarse de la siguiente manera:

Capital Social Cognitivo - Capital Social Estructural: Relación Media-Baja

Capital Social Cognitivo - Productividad y Sociedad: Relación Media

Capital Social Estructural - Productividad y Sociedad: Relación Baja

Se identifican relaciones que evidencian el crecimiento de asociaciones y su relación con la productividad, la cual debe incrementarse.

Cabe notar que la hipótesis que induce a pensar que la relación entre dimensiones del capital social es alta, queda refutada al menos en esta población, pues no necesariamente una persona que tenga una alta percepción de capital social cognitivo tendrá una alta percepción de capital social estructural e igualmente de forma recíproca.

## Conclusiones

A partir del desarrollo del presente proyecto se pudo observar que el capital social cerrado (se comprende como capital social cerrado el que se

genera entre grupos pequeños que comparten principios e intereses) tiende a ser excluyente en el disfrute de los beneficios que genera, sin embargo, en las empresas se trata de ampliar este beneficio a la comunidad por intermedio de la responsabilidad social empresarial o generando programas propios de la organización en beneficio de la comunidad, que es una tendencia que se observa en el contexto de las organizaciones encuestadas en este trabajo.

Se reconoce como positivo el resultado relacionado con el capital social cognitivo, donde se observó que el factor confianza tiene alto nivel de reconocimiento en la cultura de las organizaciones; se observó que prima su valoración como alto y muy alto. Este comportamiento puede incidir positivamente en la consolidación y desarrollo de los diferentes planes de la organización, así como su misión y visión, lo que conlleva a la consolidación de una identidad de la organización que permite mayor credibilidad y visibilidad en el entorno externo.

En relación con la normatividad se observa que gran parte de la población objeto del estudio reconoce las normas como un factor ineludible para la organización, sin embargo, es inferior el reconocimiento de equidad igualitaria de la aplicación de las normas, es decir, un segmento de las personas consideran que no se aplica el régimen normativo en igualdad de condiciones, lo que evidencia preferencias en algunos empleados afectando negativamente a la organización ya que al no existir equidad, las personas tienden a incrementar su desconfianza frente a los criterios organizacionales y normativos.

Finalmente, se evidenció que las organizaciones en general identifican elementos del capital social, sin embargo, en términos de su alcance y uso, no cuentan aún con recursos que incrementen y visibilicen este como un capital inmaterial altamente incidente en el nivel de desarrollo de la organización y de esta en relación con el contexto donde tiene su campo de acción.

## Referencias

- Ayaviri, V., Quispe, G., & Borja, M. (2017). El Capital Social en el desarrollo local comunitario. Un estudio en comunidades rurales de Bolivia. *Espacios*, 1 - 10.
- Bolivar, G., & Elizarde, A. (2011). Capital y capital social. *Polis Revista Latinoamericana*, 1-9.
- Bourdieu, P. (1988). *La distinción*. Madrid: Taurus.
- Bourdieu, P. (2000). *Poder, derecho y clases sociales* Traducción, Maria José Bernuz. Bilbao: editorial Desclée.
- Cabrera, M. (2017). *Capital social y desarrollo humano en Bogotá, D.C.: una aproximación desde las localidades* (Tesis Doctoral) Univerisdad Externado de Colombia, Bogotá, Colombia.

## La I+D+i una oportunidad para el desarrollo productivo y social de los sectores económicos del país

Cámara de Comercio de Bogotá, 2014, Estadísticas censo empresarial chapinero, en <http://hdl.handle.net/11520/3213>

Cardona, D. (2016). Aproximación a la construcción de capital social en procesos de asociatividad para el trabajo. *Revista de Trabajo Social, Universidad Nacional de Colombia*, 19: 177 - 195.

Coleman, J. (1991). Social capital in the creation of human capital. *American Journal of Sociology*, 95 - 120.

Dorado, A. (2017). Reactivación de la comunitaria en la España del siglo XXI el consejo local. *Universidad Internacional de la Rioja, Revista Prisma Social*, No 18; 393 - 433.

García-Vita, M. (2017). ¿Desarrollo humano en contextos punitivos? Análisis socioeducativo desde las vulnerabilidades sociales y el género. *Revista Criminalidad*, 59 (2): 109-124.

Ibañez, N., Mujica, M., & Castillo, R. (2017). Componentes del desarrollo humano sustentable. *Revista Científica Electrónica de Ciencias Gerenciales / Scientific e-journal of Management Science*, 63 - 77.

López, M. J. (2015). El capital social cognitivo como recurso esencial para la apropiación sustentable de la naturaleza. El caso de la Reserva de Biosfera Parque Atlántico Mar Chiquito. *Revista de turismo y patrimonio cultural*.

Neyra, I., Lacalle-Calderón, M., & Portela, M. (2016). Asistencia oficial para el desarrollo, capital social y crecimiento en América Latina. *Revista Cepal*, 32 - 45.

Pizzio, A. (2018). Capital social étnico e desenvolvimento comunitário: o caso da organização de mulheres indígenas Masehual Siuamej Mosenyolchikauanij. *Redes - Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul*, 282 - 299.

Putnam, R. (2003). *El declive del capital social: Un estudio internacional sobre las sociedades y el sentido comunitario*. Barcelona: Galaxia Gutemberg.

Richardson, J. (1986). Pierre Bourdieu "The social capital". *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*, 65 - 79.

Woolcock, M., & Narayan. (2000). Social capital: Implications for development theory, research and policy. *The World Bank Research Observer Vol, 15 No 2*, 225-249.

Autores

Manuel Fernando Cabrera Jiménez

Doctor en Estudios Políticos, Universidad Externado de Colombia, Magister en Docencia, Universidad de la Salle. Especialista en Logística Comercial Internacional, y Gerencia estratégica de mercadeo, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia, Profesional en Relaciones Internacionales, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Docente investigador Universidad ECCI, Bogotá, Colombia. Correo: [mcabreraj@ecci.edu.co](mailto:mcabreraj@ecci.edu.co)

Luz Stella García Monsalve

Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Especialista en Auditoría de Sistemas, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia. Ingeniera de Sistemas, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia. Docente Universidad ECCI, Bogotá, Colombia. Correo: [lgarciam@ecci.edu.co](mailto:lgarciam@ecci.edu.co)

