

FACTIBILIDAD DEL DESARROLLO DEL FACSAT-2

Sonia Ruth Rincón Urbina
Cesar Augusto Rodriguez Adaime
Edwin Jairt Bastidas Bonilla



Catalogación en la publicación - Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”

Factibilidad del desarrollo del FACSAT-2 / Rincón Urbina, Sonia Ruth

-- Santiago de Cali: Sello Editorial Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” EMAVI, 2023.

246 páginas: ilustraciones color y gráficos; 22x28 cm

Incluye referencias bibliográficas al final

ISBN (Impreso): 978-628-95947-8-2

ISBN (Digital): 978-628-95947-9-9

Colombia. Escuela Militar de Aviación (EMAVI) –

1. Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales-- Estudio y enseñanza --- 2. Factibilidad-- Estudio y enseñanza --
3. Misión Espacial

--i. Rincón Urbina, Sonia Ruth, Teniente Coronel (autor), ii. Edwin Jairt Bastidas Bonilla (autor), iii. Cesar Augusto Rodriguez Adaime (autor), iv. Colombia. Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI); v. Colombia. Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC).

Registro Catalográfico SIBFuP 991283609907231

629.46 23

Archivo descargable en formato MARC en: <https://tinyurl.com/emavi991283609907231>

Factibilidad del desarrollo del FACSAT-2

© Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI)

©EMAVI Sello Editorial

©Sonia Ruth Rincón Urbina, Cesar Augusto Rodriguez Adaime y Edwin Jairt Bastidas Bonilla.

Dirección

BG. Víctor Alexander Celis Herrera

Subdirección

CR. Fabián Andrés Salazar Ospina
Escuela de Formación y Jefe de Estado Mayor

Comando Grupo Académico

TC. Kenny Leonardo Moreno Delgado

Jefe Sección Investigación

MY. Héctor Fabio Calvo Valencia

1ra. Edición: 50 ejemplares

Santiago de Cali, Valle del Cauca, 2023

Sección Investigación EMAVI

Carrera 8 # 58-67 (La Base)

Cali-Colombia

Teléfono: +57 (2) 488 1000, Ext. 68841

Apoyo Gestión de Publicaciones Científicas

PS. Diana María Mosquera Taramuel
diana.mosquerat@emavi.edu.co

Corrección de Estilo:

Raúl Eduardo Chacón Hernández

Diseño y Diagramación Editorial:

EF Business Outsourcing S.A.S

Publicado en Colombia–Published in
Colombia

Contenido relacionado

<https://www.emavi.edu.co/es/investigacion/editorial-emavi>

Las instituciones editoras de esta obra no se hacen responsable de las ideas expuestas bajo su nombre, las ideas publicadas, los modelos teóricos expuestos o los nombres aludidos por los autores. El contenido publicado es responsabilidad exclusiva de los autores, no refleja la opinión de las directivas, el pensamiento institucional de las Universidades editoras, ni genera responsabilidad frente a terceros en caso de omisiones o errores.

El Sello Editorial de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons, que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente.

FACTIBILIDAD DEL DESARROLLO DEL FACSAT-2

Autores:

Sonia Ruth Rincón Urbina
Cesar Augusto Rodriguez Adaime
Edwin Jairt Bastidas Bonilla



CONTENIDO

PÁG.

GLOSARIO	13
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	22
INTRODUCCIÓN	26
1. ANÁLISIS ESTRATÉGICO Y EMPRESARIAL	30
1.1 NATURALEZA DE LA FAC.....	30
1.1.1 Misión de la FAC.....	31
1.1.2 Visión de la FAC.....	32
1.2 FUNCIONES DE LA FAC.....	34
1.3 ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO AÉREO Y ESPACIAL DE LA FAC AL 2042.....	35
1.3.1 Políticas institucionales FAC.....	35
1.3.2 Áreas misionales de las FAC	36
1.3.3 Capacidades y oferta de valor de la FAC.....	36
1.3.4 Plan de desarrollo de la FAC.....	41
1.4 MAPA ESTRATÉGICO DE LA FAC.....	45
1.5 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DE LA FAC.....	47
1.6 CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGÍAS AEROESPACIALES (CITAE).....	49
1.7 PROGRAMA FACSAT.....	51
1.7.1 Misión Espacial FACSAT-1.....	54
1.7.2 Misión Espacial FACSAT-2 “Sat Chiribiquete”.....	58
1.7.3 Comparación entre el FACSAT-1 y el FACSAT-2.....	61
1.7.4 Misión Espacial FACSAT-3.....	64
1.8 FILOSOFÍA EMERGENTE Y PRIVADA DE LA INDUSTRIA ESPACIAL “NEWSPACE”	64
2. ANÁLISIS LEGAL Y NORMATIVO.....	71
2.1 ANTECEDENTES.....	71
2.2 LEGISLACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL.....	72
2.3 LEGISLACIÓN A NIVEL NACIONAL.....	75

2.3.1	Estrategia del SNCCTel de Minciencias.....	79
2.4	IMPORTANCIA DEL SECTOR ESPACIAL PARA EL PAÍS.....	81
2.4.1	Aportes de las actividades del sector al PIB.....	81
2.4.2	Formas de agrupación del sector privado en Colombia.....	86
2.5	ANÁLISIS DE LA POLÍTICA ESPACIAL EN COLOMBIA.....	87
2.6	LEYES ESPACIALES Y SU IMPACTO EN LAS OPERACIONES MILITARES.....	94
3.	ANÁLISIS TÉCNICO Y TECNOLÓGICO.....	103
3.1	SATÉLITES.....	103
3.1.1	Historia de los primeros satélites artificiales.....	104
3.1.2	Tipos de satélites artificiales.....	105
3.2	NANOSATÉLITES.....	107
3.2.1	Estadísticas relevantes de los Nanosatélite.....	110
3.3	CUBESAT.....	115
3.3.1	Aplicaciones de los CubeSat.....	120
3.4	LEGISLACIÓN DE INGENIERÍA ECSS DE LA ESA PARA PROYECTOS SATELITALES.....	122
3.5	INGENIERÍA DE SISTEMAS APLICADOS A LOS CUBESAT.....	127
3.5.1	Ingeniería de Sistemas NASA.....	132
3.5.2	Ingeniería de Sistemas ESA.....	135
3.5.3	Ingeniería de Sistemas de la Agencia Espacial de México -AEM.....	141
3.5.4	Análisis y diseño de Misiones Espaciales (SMAD).....	144
3.6	ANÁLISIS TÉCNICO DE LA MISIÓN ESPACIAL FACSAT-2.....	146
3.6.1	Metodología de la misión espacial FACSAT-2.....	147
3.6.2	Concepto de operación.....	148
3.6.3	Misión espacial FACSAT-2.....	150
3.6.4	Levantamiento documental para el diagnóstico del proyecto FACSAT-2.....	151
3.6.5	Síntesis y recomendaciones.....	151
3.7	ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LA MISIÓN ESPACIAL FACSAT-2.....	154
3.7.1	Sistemas y subsistemas de la misión espacial FACSAT-2	154
3.7.2	Infraestructura instalada.....	160
3.7.3	Síntesis.....	169

4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	173
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO.....	174
4.2 POLÍTICAS ADMINISTRATIVAS Y FINANCIERAS.....	176
4.3 PROYECCIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES MACROECONÓMICAS.....	176
4.4 SIMULACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS.....	177
4.4.1 Análisis del riesgo e incertidumbre: la necesidad de administrar el riesgo.....	182
4.5 PROYECCIÓN DE INGRESOS GENERADOS.....	189
4.6 PROYECCIÓN DE COSTOS DE DESARROLLO.....	192
4.6.1 Doctrina y Organización.....	192
4.6.2 Inversiones en materiales y equipos.....	194
4.6.3 Personal.....	195
4.6.4 Infraestructura.....	197
4.6.5 Gastos de administración.....	198
4.7 PROYECCIONES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS.....	198
4.7.1 Proyecciones macroeconómicas.....	199
4.7.2 Balance general.....	201
4.7.3 Influencia del flujo de caja libre en el análisis financiero.....	204
4.7.4 Punto de equilibrio.....	206
4.7.5 Indicadores financieros del programa espacial FACSAT.....	208
4.8 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.....	213
4.9 SÍNTESIS.....	215
 5. CONCLUSIONES.....	 218
 6. BIBLIOGRAFÍA	 223
 7. AGRADECIMIENTOS.....	 242
 8. SOBRE LOS AUTORES.....	 243

LISTA DE FIGURAS

PÁG.

Figura 1. Mapa Estratégico FAC 2022.....	46
Figura 2. Actividades relacionadas a la fabricación y servicios aeroespaciales	83
Figura 3. Categorías de naves espaciales pequeñas	106
Figura 4. Tipos de satélites de acuerdo con su naturaleza, forma y tamaño.....	107
Figura 5. Registro de lanzamiento de nanosatélites a nivel mundial.....	110
Figura 6. Registro de nanosatélites por locaciones	111
Figura 7. Registro histórico de nanosatélites.....	112
Figura 8. Tipos de nanosatélites lanzados.....	113
Figura 9. Frecuencia de banda de nanosatélites	114
Figura 10. Tendencias tecnológicas a nivel internacional Nanosatélites	114
Figura 11. CubeSat	116
Figura 12. Subcomponente CubeSat.....	117
Figura 13. CubeSat y dispensador	117
Figura 14. Configuración básica de CubeSat	118
Figura 15. Aplicaciones de la observación de la tierra según temática.....	121
Figura 16. Ingeniería de Sistemas NASA.....	132
Figura 17. Ciclo de vida de proyecto NASA.....	134
Figura 18. Ingeniería de Sistemas ESA	136
Figura 19. Ciclo de vida de un proyecto ESA.....	137
Figura 20. Fases y modelo de ingeniería en “V”	141
Figura 21. Ingeniería de Sistemas AEM.....	142
Figura 22. Concepto operacional de la misión FACSAT-2.....	149
Figura 23. Dispensador del Satélite FACSAT-2	150
Figura 24. Sistemas y subsistemas de un CubeSat	155
Figura 25. Ensamble del FACSAT-2	155
Figura 26. Estructura Estándar 6U	159
Figura 27. Distribución de la Infraestructura del CITAE	161
Figura 28. Laboratorios del CITAE	162
Figura 29. Generación de pruebas del FACSAT-2.....	164
Figura 30. Esquema de Factibilidad de un proyecto	173
Figura 31. Diagrama de flujo de una simulación del Valor Presente Neto.....	178

Figura 32. Valor Presente Neto simulado, a través, de Crisall Ball.....	179
Figura 33. Valor TRM de los últimos 10 años en Colombia.....	179
Figura 34. Valor del IPP de los últimos 10 años en Colombia	180
Figura 35. Valor del IPC de los últimos 10 años en Colombia	181
Figura 36. Valor presente neto en riesgo	184
Figura 37. Estimación del VPN en riesgo y el nivel de confianza.....	184
Figura 38. VaR en Riesgo para un nivel de confianza estadísticas del 95 %	186
Figura 39. Representación del CVaR.....	188
Figura 40. Esquema Flujo de Caja del Programa FACSAT	190
Figura 41. Punto de equilibrio	207

LISTA DE TABLAS

PÁG.

Tabla 1. Síntesis de la visión de la FAC	33
Tabla 2. Funciones de FAC relacionadas con la misión espacial FACSAT-2	34
Tabla 3. Políticas de la FAC que aportan al desarrollo del Programa FACSAT	35
Tabla 4. Aporte del programa FACSAT a las Áreas Misionales FAC	36
Tabla 5. Definiciones DOMPI	37
Tabla 6. Modelo de escala de tecnología espacial STLD.....	39
Tabla 7. Proyección del desarrollo espacial de la FAC	41
Tabla 8. Proyección Estratégica de la FAC	42
Tabla 9. Recomendaciones para el Desarrollo Espacial de la FAC	44
Tabla 10. Contribuciones de la FAC en el empleo y protección de la fuerza	46
Tabla 11. Contribución del Programa FACSAT a los objetivos Estratégicos de la FAC.....	47
Tabla 12. Líneas de Investigación del programa espacial de la FAC relacionados con programa FACSAT	50
Tabla 13. Iniciativas FAC para el fortalecimiento del poder y capacidad espacial	52
Tabla 14. Características técnicas Satélite FACSAT-1	56
Tabla 15. Subsistemas definidos para el bus satelital del nanosatélite FACSAT-1.....	57
Tabla 16. Desarrollo de Capacidades Espaciales en Colombia con el FACSAT-1.....	57
Tabla 17. Fases de la Misión Espacial FACSAT-2	59
Tabla 18. Características técnicas del Satélite FACSAT-2	60
Tabla 19. Comparación entre el FACSAT-1 y el FACSAT-2.....	61
Tabla 20. Empresas y contribuciones en programas espaciales	65
Tabla 21. Características, impacto y retos del movimiento Newspace.....	66
Tabla 22. Documentos internacionales que evidencian el crecimiento espacial.....	73
Tabla 23. Documentos y normas Europeas relacionadas a la misión espacial FACSAT-2	73
Tabla 24. Legislación normativa nacional del sector espacial	76
Tabla 25. Documentos nacionales para la creación de lineamientos legales	77
Tabla 26. CONPES asociados al Programa FACSAT.....	78
Tabla 27. Normatividad de Minciencias.....	80
Tabla 28. Cantidad de apuestas productivas departamentales pre priorizadas	82
Tabla 29. Sociedades civiles de Colombia que agrupan el sector espacial	86

Tabla 30. Enfoques Estratégicos para el desarrollo de la política espacial en Colombia.....	89
Tabla 31. Desafíos en el desarrollo del sector espacial en Colombia	91
Tabla 32. Estrategias para el desarrollo del sector espacial en Colombia	92
Tabla 33. Resumen del tratado sobre el espacio ultraterrestre de 1967.....	96
Tabla 34. Principios clave del tratado sobre el espacio exterior.....	97
Tabla 35. Problemas y principios asociados.....	99
Tabla 36. Regulaciones domésticas y su impacto.....	100
Tabla 37. Primeros desarrollos calven en la historia de los satélites artificiales.....	104
Tabla 38. Satélites artificiales por misiones	105
Tabla 39. Satélites artificiales por su peso	106
Tabla 40. Principales nanosatélites lanzados hasta el 2019.....	108
Tabla 41. Aplicaciones y beneficios de los CubeSats	120
Tabla 42. Estándares de ingeniería ECSS para proyectos satelitales.....	122
Tabla 43. Estándares de ingeniería ECSS para proyectos de CubeSat	126
Tabla 44. Guía estándar ECSS de apoyo a actividades de proyectos satelitales	127
Tabla 45. Etapas Críticas del Desarrollo de Proyectos Espaciales	143
Tabla 46. Diseño de una misión espacial en cuatro pasos.....	144
Tabla 47. Fases de desarrollo de un programa espacial	145
Tabla 48. Configuración de la estructura de 6U	156
Tabla 49. Subsistemas del Satélite FACSAT-2.....	157
Tabla 50. Sistemas de la misión espacial FACSAT-2	158
Tabla 51. Relación de Infraestructura y laboratorios CITAE 2021.....	160
Tabla 52. Aspectos clave y beneficios de la normativa ECSS para CubeSat	162
Tabla 53. Programa de Pruebas para la Validación, Integración y Ensamble de Cubesats	165
Tabla 54. Documentación y Procedimientos para Pruebas de Calificación de Componentes Satelitales.....	166
Tabla 55. Consideraciones generales del modelo	175
Tabla 56. Parámetros de las variables críticas de simulación	181
Tabla 57. Políticas Administrativas.....	192
Tabla 58. Políticas Financieras.....	193
Tabla 59. Costos asociados a los sistemas del satélite FACSAT-2.....	194
Tabla 60. Transferencia de Conocimiento y capacitación del proyecto FACSAT-2.....	195

Tabla 61. Indicadores del programa de transferencia de conocimiento
con GOMspace196

Tabla 62. Relación de Costos de la Infraestructura y laboratorios CITAE 2021.....197

Tabla 63. Relación de Costos y Gastos administrativos del Proyecto FACSAT-2..... 198

Tabla 64. Proyecciones macroeconómicas de la misión FACSAT-2 199

Tabla 65. Balance General resumido..... 201

Tabla 66. Flujo de caja libre en el análisis financiero.....204

Tabla 67. Punto de equilibrio común y contable206

Tabla 68. Indicadores Financieros209

Tabla 69. Indicadores Financieros 211

GLOSARIO

Con el propósito de unificar los criterios con relación a algunos aspectos y términos que se utilizarán dentro del documento, se presentan las definiciones de las palabras claves establecidas:

- **Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI):** representan procesos sistemáticos vinculados estrechamente con la generación, fomento, difusión y aplicación de saberes científicos y técnicos (Minciencias, 2023).
- **Actividad de patentamiento:** Suma de las publicaciones de las solicitudes de patente presentadas en diferentes países para proteger las invenciones oriundas de un mismo país (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 77).
- **Actividad de trabajo:** Conjunto de tareas u operaciones propias de una ocupación o labor (Ministerio de Protección Social, 2011, p. 14).
- **Actividad inventiva:** cantidad de invenciones objeto de solicitud para obtener protección mediante una patente. Indicador evaluado según el país, solicitante o inventor y se determina considerando la primera solicitud presentada en cualquier parte del mundo, a partir de la fecha de presentación (conocida como fecha de prioridad) (Superintendencia de Industria y Comercio, 2015, p. 15), (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 77)
- **Acuerdo (Agreement):** Documento de una organización que expresa la aprobación del cumplimiento de un servicio específico (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009).
- **Administradoras de Riesgos Profesionales (ARP):** Son las entidades encargadas de organizar la afiliación, el recaudo de las cotizaciones, el pago de las prestaciones económicas, la venta de los servicios adicionales de salud ocupacional y la prestación del servicio médico efectivo a través de las entidades promotoras de salud (Distribuidora Rayco S.A, 2021).
- **Agente de Riesgo:** Condición o acción que potencialmente puede provocar un accidente o generar una enfermedad (Ministerio de Protección Social, 2011, p. 14).
- **Algoritmo:** Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas (Arroyo Herrera & Galíndez Rentería, 2020, p. 13).



- **Amortización:** Valor prorrogado que se aplica a los activos diferidos o intangibles, tales como: gastos pre-operativos, gastos de instalación, compra de marcas y patentes, etc., (Baca Urbina, 2007, p. 184).
- **Análisis de sensibilidad:** Es un término financiero que es utilizado por las empresas para la toma de decisiones de inversión, que consiste en calcular los nuevos flujos de caja y de valor presente neto (VPN) al cambiar una variable que es crítica para el proceso, y así poder determinar su incidencia en los indicadores financieros utilizados en la toma de decisiones. El análisis de sensibilidad se presenta cuando se compara los flujos actuales de caja y VPN con los obtenidos a través de la simulación (Gava, Roper, Serna, & Ubierna, 2008).
- **Asociaciones, Corporaciones, Fundaciones e Instituciones de utilidad común (Gremios):** Entidades Con o Sin ánimo de Lucro, encargadas de producir o distribuir conjunta y eficientemente bienes o servicios para satisfacer las necesidades de sus asociados y de la comunidad en general (Rodríguez A., 2021).
- **Catastro multipropósito:** Sistema basado en el predio, que contiene o integra los componentes físico, jurídico, económico y el aspecto material (información de las relaciones de hecho que no constituyen derechos reales materiales), para usos múltiples. Entre los fines más relevantes sobresalen: la gestión pública multisectorial, la formalización y seguridad jurídica de la propiedad inmueble, la transparencia y agilidad del mercado de tierras, la eficiencia en la gestión fiscal, la interoperabilidad entre sistemas de información y la disposición de información para la habilitación espacial de la sociedad (CONPES 3958, 2019, p. 70).
- **Catastro:** Es el inventario o censo, debidamente actualizado y clasificado, de los bienes inmuebles pertenecientes al Estado y a los particulares, con el objeto de lograr su correcta identificación física, jurídica, fiscal y económica (CONPES 3958, 2019, p. 70).
- **Clúster:** Título otorgado por la cámara de comercio a la concentración de empresas interconectadas en la actividad económica que desarrollan un municipio, las cuales trabajan de manera colaborativa identificando y mejorando las necesidades sociales, ambientales y económicas con acciones comunes que aporten al crecimiento global (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020), (Rodríguez A., 2021).
- **Consuetudinario:** Es una fuente del derecho en derecho internacional. En el derecho nacional solo es fuente auxiliar. Son prácticas recurrentes que se “aceptan como ley”, aunque no estén escritas expresamente en tratados.
- **Costos:** Desembolso en efectivo o en especie hecho en el pasado (costos hundidos), en el presente (inversión), en el futuro (costos futuros) o en forma virtual (costo de oportunidad) (Baca Urbina, 2010, p. 139).

- **CSAOSR:** Consejo Superior de la Administración de Ordenamiento del Suelo Rural (CSAOSR), adscrito al Departamento Administrativo de la Presidencia de la República, al cual se le asignaron, entre otras funciones, la de asegurar la articulación entre el catastro y el registro y promover la implementación de la política pública de catastro multipropósito (CONPES 3958, 2019, p. 17).
- **DATASET:** Una colección de conjuntos de información relacionados que se compone de elementos separados pero que una computadora puede manipular como una unidad (Arroyo Herrera & Galíndez Rentería, 2020, p. 13).
- **Datificación:** Es transformar el mundo en datos procesables y cuantificables, da lugar a la generación de nuevos bienes, servicios y procesos, así como a la mejora de los existentes, aportando a la diversificación y sofisticación de la economía, que redundan en el crecimiento de la misma (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2012a) (República de Colombia, 2018, p. 10).
- **Datos:** Los datos son la representación primaria de variables cualitativas y cuantitativas que son almacenables, transferibles, pueden ser visualizadas, controladas y entendidas.
- **Democratización:** Que ocurre una transición política autoritaria restringido de un número exclusivo de países a mayores participaciones de países en la economía espacial, mediante la vinculación a diferentes eslabones de la cadena de valor, partiendo de las potencialidades.
- **Depreciación:** Bajar de precio al valor de los activos (pérdida de valor), la cual se debe: al uso, al paso del tiempo o a la obsolescencia tecnológica (Baca Urbina, 2007, p. 184).
- **Economía espacial:** se refiere a la generación de ingresos a través de diversas actividades espaciales, como la investigación y desarrollo, la manufactura, el uso de infraestructura espacial, y la explotación de datos e información generados por estas actividades. Esta economía trasciende el ámbito espacial en sí, ya que tiene un impacto multiplicador en la productividad, la calidad de vida, la seguridad y el medio ambiente a través de una amplia gama de aplicaciones y servicios. Esta economía continúa creciendo a medida que avanzan las tecnologías disponibles. Estas ideas se presentan en un estudio realizado por García Martínez-Peñalver, Gago Areces & Fontán Oñate (2014, p. 122) y se mencionan en el CONPES 3983 (2020).
- **Elementos de Protección Personal:** Estos deben ser suministrados teniendo en cuenta los requerimientos específicos de los puestos de trabajo, homologación según las normas de control de calidad y el confort. Además, es necesario capacitar en su manejo, cuidado y mantenimiento, así como realizar el seguimiento de su utilización. Estos elementos de protección deben ser escogidos de acuerdo con las referencias



específicas y su calidad. No importa si es más costoso uno que otro, lo importante es el nivel de prevención al que llegue. Sin embargo, esta es la última alternativa de control. Principales EPP: 1. Protección para la cabeza, facial y visual. 2. Respiratoria, auditiva, en alturas, pies, manos y todo el cuerpo (Enfermería APS, 2024; Solarte Quiñones, 2007, p. 12; Universidad Antonio Nariño, 2020).

- **Estado de la misión (mission statement):** Documento recoge las necesidades para la ejecución satisfactoria de un servicio específico (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009).
- **Explotación de datos:** generación de valor social y económico mediante el aprovechamiento de datos para la creación de nuevos bienes, servicios, procesos, así como para el mejoramiento de los existentes (Congreso de la República de Colombia, 2019, p. 96).
- **Extintor:** Aparato autónomo que contiene un agente extintor el cual puede ser proyectado y dirigido sobre un fuego por la acción de una presión interna.
- **Factores de Riesgo:** Es la existencia de elementos, fenómenos, ambiente y acciones humanas que encierran una capacidad potencial de producir lesiones o daños materiales y cuya probabilidad de ocurrencia depende de la eliminación o control del elemento agresivo. Se clasifican en: Físicos, químicos, mecánicos, locativos, eléctricos, ergonómicos, psicosociales y biológicos. Su identificación acertada y oportuna, contando con la experiencia del observador, son elementos que influyen sobre la calidad del panorama general de agentes de riesgo. Se deben identificar los factores de riesgo, en los procesos productivos, en la revisión de los datos de accidentalidad y las normas y reglamentos establecidos (Enfermería APS, 2024; Delgado S., 2018).
- **Federaciones y Confederaciones:** Grupo de asociaciones y empresas del sector (Rodríguez A., 2021)
- **Gobernanza:** Proceso de interacción y toma de decisiones entre actores involucrados en un problema colectivo que conduce a la creación, reforzamiento o reproducción de normas sociales e instituciones. El marco de gobernanza es de suma importancia para activar el ecosistema espacial, ya que su desarrollo requiere una definición clara de los roles de las instituciones públicas, privadas y académicas, así como una fuerte articulación entre estos.
- **Gobierno Electrónico:** se fundamenta en el aprovechamiento estratégico de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para optimizar el desempeño del sector público. Su propósito principal radica en potenciar la eficiencia administrativa, fomentar la transparencia en la gestión gubernamental y promover una mayor participación ciudadana en los asuntos del Estado.

- **Grupo empresarial:** Con base en los criterios establecidos en la Ley 222 de 1995, (artículo 28), establece que un grupo empresarial corresponde a la unión de empresas en subordinación, unidad de propósito y dirección, para la realización de actividades conjuntas en busca de un objetivo común (Gerencie.com, 2020), (Decreto 410 de 1971 Nivel Nacional, 2020), (Rodríguez A., 2021).
- **Impacto industrial:** Cantidad de solicitudes de patente que citan un documento de patente X (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 78).
- **Incendio:** Fuego descontrolado que no pudo ser extinguido en sus primeros minutos.
- **Incendios Clase A:** Los incendios de Clase A son incendios de materiales combustibles comunes, como la madera, tela, papel, caucho y muchos plásticos.
- **Incendios Clase B:** Los incendios de Clase B son incendios de líquidos inflamables, líquidos combustibles, grasas de petróleo, alquitrán, aceites, pinturas a base de aceite, disolventes, lacas, alcoholes y gases inflamables.
- **Incendios Clase C:** Son incendios que involucran equipos eléctricos energizados.
- **Incendios Clase D:** Los incendios de Clase D son incendios de metales combustibles como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio y potasio.
- **Incendios Clase K:** Los incendios Clase K son incendios de electrodomésticos que involucran combustibles para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales).
- **Incertidumbre:** Hace referencia a no poder determinar con la suficiente precisión para las necesidades dentro de un plazo de tiempo prescrito, tanto las probabilidades de ocurrencia como las futuras consecuencias que se deriven de un conjunto de circunstancias presentes (Bautista Mera, 2012, p. 26).
- **Inflación:** Es el incremento sostenido en el nivel general de los precios en una economía (Baca Urbina, p. 244).
- **Infraestructura de Datos Espaciales (IDE):** Es un sistema de sistemas integrados por un conjunto de recursos muy heterogéneo (datos, software, hardware, metadatos, servicios, estándares personas, organización, marco legal, acuerdos, políticas, usuarios), gestionado por una comunidad de actores, para compartir información geográfica en la web de la manera más eficaz posible (Bernabé-Poveda & López-Vásquez, 2012, p. 42), (CONPES 3958, 2019, p. 70).
- **Ingeniería de sistemas:** Proceso que transforma un requisito en una solución de un sistema desde la interdisciplinariedad rigiendo un esfuerzo técnico, es decir, las decisiones estratégicas, invenciones, intercambios de ingeniería y suposiciones, que son de mayor relevancia, basados en como el sistema se orienta a cumplir los requisitos derivados y asignados (IEEE P1220, 1994), (Firesmith, 2009).



- **Inteligencia artificial (IA):** Es una rama de la ciencia de la computación que busca que las máquinas imiten el comportamiento inteligente para la resolución de problemas. Este campo ofrece los mayores avances en las capacidades técnicas para la explotación de datos. Se sirve de conocimientos de otras disciplinas, como la lingüística, psicología, biología, entre otras. Un paso previo para obtener la inteligencia artificial es el aprendizaje de máquinas (Rodríguez A, 2021).
- **Invención:** Es un nuevo producto (aparato, máquina, material, sustancia), procedimiento o forma de hacer algo que resuelve alguna necesidad o problema técnico (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 78).
- **KERNEL:** Es una matriz, que se desliza a través de la imagen y se multiplica con la entrada de modo que la salida se mejora de una manera deseable (Towards Data Science) (Arroyo Herrera & Galíndez Rentería, 2020, p. 13).
- **Offsets:** Acuerdos de compensación que se utilizan en la negociación del mercado mundial de bienes de defensa (Vargas Vergnaud, 2004). La gama completa de incentivos comerciales e industriales proporcionados por gobiernos extranjeros con el fin de influir en la adquisición de bienes y servicios militares abarca una serie de ventajas. Estas ventajas pueden comprender la coproducción, la producción bajo licencia, la subcontratación, la transferencia de tecnología, la compra de bienes, el respaldo financiero en asistencia técnica y colaboraciones empresariales conjuntas, como las Joint Ventures (Defense Offsets Disclosure Act of 1999 de los EEUU) (Vargas Vergnaud, 2004).
- **Patente:** Derecho exclusivo concedido por ley a los solicitantes o inventores sobre sus invenciones durante un periodo limitado (generalmente de 20 años). El titular de la patente tiene el derecho a impedir la explotación comercial de su invención por parte de terceros durante dicho periodo. Como contrapartida, el solicitante está obligado a dar a conocer su invención al público, de modo que otras personas expertas en la materia puedan reconocer y reproducir la invención. El sistema de patentes tiene como objetivo equilibrar los intereses de los solicitantes (derechos exclusivos) y los intereses de la sociedad (divulgación de la invención) (Superintendencia de Industria y Comercio, 2015) (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 79).
- **Percepción remota:** Es el arte de obtener información a partir de objetos, áreas o fenómenos de la Tierra, a través del análisis de datos adquiridos por sensores remotos. (República de Colombia, 2010, p. 9)
- **Probabilidad:** Es un estado de la mente, porque representa la creencia en la posibilidad de que ocurra determinado evento (Baca Urbina, Evaluación de Proyectos, 2010, p. 206).

- **Pruebas (test):** Proceso para evaluar/verificar el cumplimiento de una medición y las funciones del producto, bajo condiciones controladas representativas (ESA, ECSS-E-ST-10-02C, 2009).
- **PUC:** Plan Único de Cuentas.
- **Puesta en servicio (Commissioning):** Verificación y validación de los elementos espaciales o del sistema en general (incluidos los elementos terrestres), mediante actividades realizadas después del lanzamiento y antes de la entrada en servicio operacional (ESA, ECSS-E-ST-10-02C, 2009).
- **Red geodésica:** Se define como el conjunto de estaciones de monitoreo continuo de datos GPS, distribuidas estratégicamente en el territorio nacional, que materializan el Sistema Geodésico Nacional en su vertiente horizontal y proporcionan servicios de posicionamiento geodésico a los usuarios mediante datos en línea y coordenadas en el marco oficial (Instituto Nacional de Información Estadística y Geográfica, 2023), (CONPES 3958, 2019, p. 70).
- **Red Neuronal Artificial:** Es un medio de hacer aprendizaje automático, en el que una computadora aprende a realizar una tarea analizando ejemplos de entrenamiento (Larry Hardesty, MIT) (Arroyo Herrera & Galíndez Rentería, 2020, p. 13).
- **Reindustrialización:** La política de reindustrialización busca enfrentar desafíos estructurales que han limitado el desarrollo industrial en Colombia, como la baja productividad, la escasa inversión en investigación y desarrollo, y la falta de infraestructura adecuada. Se incluyen la modernización tecnológica de las empresas, el fortalecimiento de las capacidades humanas mediante la educación y formación técnica, la promoción de la cooperación entre el sector público y privado, y la creación de un entorno favorable para la inversión. Además, el plan enfatiza la importancia de la sostenibilidad ambiental, proponiendo medidas para reducir la huella ecológica de la industria y fomentar prácticas productivas responsables (CONPES 4129, 2023).
- **Resolución:** La resolución es la precisión del detalle en las imágenes de mapa de bits, que se mide en píxeles por pulgada (ppp). Cuantos más píxeles por pulgada, mayor resolución. En general, las imágenes con más resolución producen una calidad de impresión mejor (Adobe System Incorporated) (Arroyo Herrera & Galíndez Rentería, 2020, p. 13).
- **Revisión del diseño (review-of-design):** Método de verificación que muestra el cumplimiento inequívoco del requisito mediante la evidencia de un documento que lo soportan con descripciones, planos, dibujos de ingeniería y características apropiadas de uso (ESA, ECSS-E-ST-10-02C, 2009).



- **Riesgo:** Probabilidad de ocurrencia de un evento de características negativas (Ministerio de Protección Social, 2011, p. 14).
- **Riesgos Profesionales:** Son riesgos profesionales el accidente que se produce como consecuencia directa del trabajo o labor desempeñada, y la enfermedad que haya sido catalogada como profesional por el Gobierno Nacional. Comentario: El riesgo profesional es el suceso al que se encuentra expuesto el trabajador por la actividad que desarrolla en ejercicio de una relación de trabajo. Este concepto genérico comprende dos especies: los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales (Decreto Ley 1295, 1994; Ley 100, 1993; Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1994; Legis Xperta, 1994).
- **Simulación:** Es un método conductual basado en estadísticas que aplica distribuciones de probabilidad determinadas para estimar los resultados riesgosos (Gitman & Zutter, 2012, p. 416).
- **TIR:** La Tasa Interna de Retorno es la ganancia anual que tiene cada inversionista como tasa de rentabilidad. También se define como la tasa de descuento que hace que el VPN = 0 (Baca Urbina, 2007, p. 92). Es la medida más común de la rentabilidad de las inversiones (Martínez Abascal, 2013, p. 105).
- **TMAR:** Tasa de inflación + premio de riesgo. El premio al riesgo es el verdadero valor del crecimiento del dinero, por lo tanto, a mayor riesgo mayor ganancia.
- **Transferencia de tecnología:** Acto por medio del cual se produce una transmisión de conocimientos. Dicha transferencia se realiza a partir de publicaciones, bases de datos, compra de tecnología, asistencia técnica, documentos de patente, licencias de patente, cesiones entre otras. (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 81)
- **TRE:** Tasa de Rentabilidad Esperada o también conocida como Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) es la tasa mínima que se acepta en una inversión o proyecto. Esta tasa se debe comparar con la tasa de referencia del inversionista para determinar si la inversión (proyecto) es factible o no (Baca Urbina, Fundamentos de Ingeniería Económica, 2007, p 86). De acuerdo con Baca Urbina (2007) se define la TMAR como:
 - **TRM:** Tasa representativa del mercado.
- **Variables críticas:** Como su nombre lo indica las variables críticas son condiciones, cuyos valores se crean y modifican a través de expresiones matemáticas o lógicas y que inciden directamente en el resultado del proceso de simulación. Las variables pueden ser continuas o discretas (García Dunna, García Reyes & Cárdenas Barrón, 2006, p. 3).
- **Vida Útil del Activo:** periodo (expresado usualmente en años), que un activo sirve o está disponible en la actividad para la cual fue diseñado. Sin embargo, la vida útil

de un activo depende del número de años que ese activo estará en servicio para el propietario. La duración de la vida útil de un activo dependerá de los costos de operación y mantenimiento del mismo (Baca Urbina, Fundamentos de Ingeniería Económica, 2007, p. 136).

- **VPN:** Simplemente significa traer del futuro al presente las cantidades monetarias a su valor equivalente (Baca Urbina, 2007, p. 89).



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- **AAAE:** Autoridad Aeronáutica de la Aviación de Estado (Colombia).
- **AAC:** Autoridad de Aviación Civil de un Estado que hace parte del Convenio sobre Aviación Civil internacional suscrito en Chicago en 1944.
- **AD:** Applicable Document.
- **AEM:** Agencia Espacial de México.
- **AIT:** Assembly Integration and Test.
- **AITP:** Assembly Integration and Test Plan.
- **AIV:** Assembly Integration and Verification.
- **AMSAT:** Amateur Satellite.
- **AOCS:** Attitude and Orbit Control Subsystem.
- **AOS:** Advanced Orbiting Systems.
- **ARQ:** Automatic Repeat Request.
- **AR:** Acceptance Review.
- **BSC:** Balanced Scorecard.
- **CAD:** Computer Aided Design.
- **CAN:** Controller Area Network.
- **CCE:** Comisión Colombiana del Espacio.
- **CCSDS:** Consultative Committee for Space Data Systems.
- **CDR:** Critical Design Review.
- **CI:** Configuration Item.
- **CIDL:** Configuration Item Data List.
- **CIAC:** Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana.
- **CIU:** Clasificación Industrial Internacional Uniforme.
- **CITAE:** Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales.
- **CLA:** Coupled Loads Analysis.
- **CLTU:** Communications Link Transmission Unit.
- **CoG:** Centre of Gravity.
- **CODALTEC:** Corporación de Alta Tecnología para la Defensa.
- **CONPES:** Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- **COPOUS:** Comisión de Naciones Unidas para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre.
- **COTE:** Check-Out Terminal Equipment.
- **COTS:** Commercial Off The Shelf.

- **CTeI:** Ciencia, Tecnología e Innovación.
- **CUBO:** Centro de Control y Desarrollo Espacial de la FAC.
- **DAPRE:** Departamento Administrativo de la Presidencia de la República.
- **DBAEC:** Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial.
- **DC:** Direct Current DIL Deliverable Items List.
- **DCB:** Standard Data Reporting Sheet.
- **DML:** Declared Materials List.
- **DNP:** Departamento Nacional de Planeación.
- **DOMPI:** Doctrina, Organización, Material y Equipo, Personal e Infraestructura.
- **DRB:** Delivery Review Board.
- **DRD:** Document Requirements Description.
- **ECLS:** Environmentally-Controlled Life Support.
- **ECSS:** European Cooperation for Space Standardization.
- **EMC:** Electro-Magnetic Compatibility.
- **EOLR:** End of Life Review.
- **EPP:** Elementos de protección personal.
- **ESA:** Agencia Espacial Europea.
- **ESD:** Electro-Static Discharge.
- **FAC:** Fuerza Aérea Colombiana (actual Fuerza Aeroespacial Colombiana).
- **FAR:** Flight Acceptance Review.
- **FFMM:** Fuerzas Militares de Colombia.
- **FQR:** Flight Qualification Review.
- **FRR:** Flight Readiness Review.
- **FSI:** Fluid Structure Interaction.
- **GGE:** Grupo de expertos gubernamentales.
- **GMM:** Geometric Mathematical Model.
- **GSE:** Ground Support Equipment.
- **HFE:** Human Factors Engineering.
- **I/F:** Interface.
- **ICD:** Interface Control Document.
- **ICDE:** Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales .
- **ILS:** Integrated Logistic Support.
- **INCOSE:** Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas.
- **IOD:** In-Orbit Demonstration.
- **IRPT:** Inspection Report.
- **ITAR:** International Traffic Arms Regulations.
- **ITU:** International Telecommunications Union.



- **LEO:** Low Earth Orbit.
- **LRR:** Launch Readiness Review.
- **LVDS:** Low Voltage Differential Signalling.
- **MDR:** Mission Definition Review.
- **MRD:** Mission Requirements Document.
- **MSDS:** Material Safety Data Sheet.
- **MOI:** Moments of Inertia.
- **N/A:** Not applicable.
- **NASA:** National Aeronautics and Space Administration.
- **NCR:** Non-Conformance Report.
- **NEA:** Non-Explosive Actuator.
- **OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
- **OCyT:** Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.
- **ONU:** Organización de la Naciones Unidas o simplemente Naciones Unidas.
- **OPAL:** Lanzadores Automatizados Orbitando Picosat.
- **ORR:** Operational Readiness Review.
- **OTAN:** Organización del Tratado del Atlántico Norte.
- **OTS:** Off-the-Shelf.
- **PA:** Product Assurance.
- **PAEC:** Poder Aéreo, Espacial y Ciberespacial.
- **PCB:** Printed Circuit Board.
- **PCDU:** Power Conditioning and Distribution Unit.
- **PDR:** Preliminary Design Review.
- **PFM:** Proto-Flight Model.
- **PIB:** Producto Interno Bruto.
- **PIM:** Passive Inter-Modulation.
- **PMP:** Parts, Materials and Processes.
- **PND:** Plan Nacional de Desarrollo.
- **PRR:** Preliminary Requirements Review.
- **PSD:** Power Spectral Density.
- **PV:** Photo-Voltaic.
- **QA:** Quality Assurance SoW Statement of Work.
- **QR:** Qualification Review.
- **RAC:** Reglamentos Aeronáuticos de Colombia.
- **RACAE:** Reglamento Aeronáutico Colombiano para la Aviación de Estado.
- **RF:** Radio-Frequency.
- **RFD:** Request For Deviation.

- **RID:** Review Item Discrepancy.
- **RoD:** Review of Design.
- **ROE:** Recurso Órbita-Espectro.
- **RRPT:** Review-of-design report.
- **SATCOL:** Satélite de Comunicaciones de Colombia.
- **SI:** Sistemas de Ingeniería.
- **SISDAECN:** Sistema Integrado de Defensa Aérea, Espacial y Ciberespacial Nacional.
- **SGRL:** Sistema General de Riesgos Laborales.
- **SNCI:** Sistema Nacional de Competitividad e Innovación.
- **SNCCTI:** Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación.
- **SRD:** System Requirements Document.
- **SRS:** Shock Response Spectrum.
- **SRR:** System Requirements Review.
- **SWCI:** Software Configuration Item.
- **TCBM:** Medidas de Transparencia y Fomento de la Confianza.
- **TCS:** Thermal Control Subsystem.
- **TIC:** Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
- **TMM:** Thermal Mathematical Model.
- **TRB:** Test Review Board.
- **TRM:** Tasa representativa del mercado.
- **TRPT:** Test report.
- **UHF:** Ultra High Frequency.
- **UNGA:** La Asamblea General de las Naciones Unidas.
- **VCB:** Verification Control Board.
- **VCD:** Verification control document.
- **VP:** Verification plan.
- **VRPT:** Verification report.
- **XML:** Extensible Markup Language.



INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Constitución Política de Colombia de 1991, la FAC debe ejercer soberanía en el espacio aéreo colombiano, que incluye el **segmento de la órbita geoestacionaria¹, en pro de la seguridad y defensa Nacional** (Constitución Política de Colombia, 1991; Fuerza Aérea Colombiana, 2020; Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

Para cumplir con el fin constitucional, la FAC en el Plan “Estrategia para el desarrollo aéreo y espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042”, busca el dominio del Espacio, y emplea como uno de sus medios el Programa Espacial FACSAT. Es así, como en el año 2019 da inicio al proyecto FACSAT-2, que tiene como objetivo diseñar una misión satelital, con la inclusión de un programa de transferencia de conocimiento y tecnología. La misión FACSAT-2 “Sat-Chiribiquete” abarca el diseño, fabricación, pruebas, lanzamiento y calibración en órbita de una nave espacial de detección remota de seis unidades (6U). El proyecto continúa la colaboración y las capacidades locales desarrolladas con la misión FACSAT-1, satélite colombiano de 3U lanzado en el 2018 y que completó su ciclo de vida orbital y operativo en el año 2023 (Rincón-Urbina, Cárdenas-García, & Pirazán-Villanueva, 2022, 2023; Rincón-Urbina S. R. et al., 2023; Minciencias, 2021).

La misión FACSAT-2 no solo es una iniciativa pionera en la desarrollo y explotación autónoma del espacio por parte de la Fuerza Aérea Colombiana, sino también un ejemplo de éxito en términos de dirección estratégica, legal y tecnológica. Con una tasa interna de retorno del 74.05 %, un valor presente neto de \$ 30.765.574.006 en un horizonte de estudio de 15 años, y un tiempo de recuperación de inversión desde los 25 meses.

El proyecto se destaca por su viabilidad económica y su potencial para impulsar el desarrollo tecnológico y económico del país. Además, la consolidación de alianzas estratégicas y la integración de tecnologías de la Industria 4.0 aseguran no solo la autonomía en operaciones espaciales, sino también el fortalecimiento de la cooperación internacional y la inclusión de Colombia en la cadena de valor global del sector espacial. Se pueden resaltar indicadores clave de la factibilidad del programa espacial en el desarrollo de la misión FACSAT-2, abarcando:

1 Definida como una órbita geo-sincrónica (órbita geocéntrica que tiene el mismo periodo orbital que el periodo de rotación sideral de la tierra)

1. Indicadores Estratégicos:

- **Capacidades de Observación de la Tierra:** La capacidad del satélite de 4.75 m/pixel (GSD), aporta en la planificación urbana y regional, gestión ambiental y vigilancia de fronteras.
- **Consolidación de Capacidades Nacionales:** Con una apropiación de conocimiento en el desarrollo del ciclo de vida de una misión satelital del 50 % a la FAC y sus aliados, y el cumplimiento de más de 12 proyectos de investigación y desarrollo derivados del programa. Y la firma de la alianza FAC-Ecopetrol-Codaltec para aunar esfuerzos en la investigación, adquisición de datos espacial y en el monitoreo de GEI.

2. Indicadores Tecnológicos:

- **Cumplimiento de Estándares Internacionales:** Adherencia a normativas espaciales, como el estándar TEC-SY/128/2013/SPD/RW de la ESA, y certificación de componentes y sistemas desarrollados.
- **Tasa de Innovación:** Con 103 productos científicos, incluyendo ocho publicaciones científicas y al menos 12 desarrollos tecnológicos, reflejando la innovación y el avance tecnológico impulsados.

3. Indicadores Legales y Normativos:

- **Generación de Doctrina Espacial:** Creación de ocho manuales de diseño, integración y operación.
- **Cooperación Internacional:** Firma múltiples memorandos entendimiento y cooperación internacional y proyectos colaborativos con otras agencias espaciales y organizaciones internacionales.

4. Indicadores Operacionales:

- **Disponibilidad y confiabilidad del satélite:** Al menos 5 años de tiempo operativo del satélite y capacidad de realizar misiones sin interrupciones significativas.
- **Tiempo de desarrollo y lanzamiento:** 2 años y tres meses desde el diseño hasta el lanzamiento, reflejando la eficiencia y eficacia del proyecto.

5. Indicadores de Impacto social y económico:

- **Generación de Empleo:** Creación de más de 90 empleos directos e indirectos en sectores como tecnología, manufactura y servicios.



- **Impacto en la industria nacional:** Más de 30 participaciones de empresas nacionales en la cadena de valor del proyecto, incluyendo la producción de componentes y servicios tecnológicos.
- **Retorno de Inversión (ROI):** 55.16 % en términos de beneficios en el uso de la tecnología.
- **Índice de Rentabilidad Operativa:** El Índice de Rentabilidad Operativa de la misión FACSAT-2 muestra una eficiencia creciente, con una rentabilidad operacional que alcanzó un 72.94 % en 2027. Este indicador, calculado como la relación entre la rentabilidad operacional y los costos operativos, refleja la capacidad del programa para generar ingresos efectivos en relación con sus costos operativos, evidenciando una gestión económica eficiente y un alto nivel de desempeño operativo.

Estos indicadores relevantes, que incluyen la capacidad del satélite para proporcionar datos de observación de la Tierra, el cumplimiento de estándares internacionales, la adopción de políticas espaciales nacionales, la generación de empleo y el impacto positivo en la industria nacional, demuestran que FACSAT-2 no solo cumplirá con sus objetivos de alcanzar la autonomía operacional y cierre de brecha tecnológica, contribuyendo con la defensa y seguridad, sino que también fomentará el crecimiento de sectores clave como el uso y gestión del suelo, la gestión ambiental y la innovación tecnológica, beneficiando tanto a Colombia como a la humanidad en general.





1. ANÁLISIS ESTRATÉGICO Y EMPRESARIAL





La pertinencia estratégica del proyecto FACSAT-2 debe evaluarse en función del alcance frente al marco jurídico constitucional, la estrategia institucional, las capacidades distintivas, la oferta de valor y el mapa estratégico correspondiente. El análisis presentado en este capítulo permite inferir que hay un alto nivel de cumplimiento con las líneas de acción definidas por la Fuerza Aérea Colombiana en su búsqueda del dominio del espacio.

Con la implementación del proyecto se establece una nueva capacidad nacional. Según el modelo de avance en desarrollo espacial STLD, se alcanza el nivel de integrador de pequeños satélites y se avanza en la consolidación para fabricar sistemas espaciales con soporte externo.

La puesta en órbita y operación del satélite FACSAT-2 permite a la FAC adquirir conocimientos y habilidades que fortalecerán su capacidad para garantizar la seguridad y defensa del territorio mediante el uso y explotación del espacio ultraterrestre.

I. ANÁLISIS ESTRATÉGICO Y EMPRESARIAL

En el marco estratégico que abarca hasta el año 2042, la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) en la Misión reafirma su compromiso constitucional con la defensa y seguridad de Colombia, enfocándose en fortalecer y adecuar sus capacidades esenciales para hacer frente a los desafíos y demandas cambiantes de la seguridad y defensa nacional (Fuerza Aérea Colombiana, 2021, p. 4).

Esta sección del documento analiza la coherencia estratégica entre el proyecto FACSAT-2 y la perspectiva estratégica de la FAC hasta 2042, considerando políticas, pilares estratégicos, áreas misionales, objetivos estratégicos y procesos clave (Volavi, 2011; Fuerza Aérea Colombiana, 2020, p. 13).

1.1 NATURALEZA DE LA FAC

El fundamento legal de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), según lo establecido en el *Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial (DBAEC)* - Quinta edición

(Fuerza Aérea Colombiana, 2020), encuentra sus bases legales en la Constitución Política de Colombia de 1991, específicamente en el artículo 217. El artículo establece la necesidad de mantener Fuerzas Militares permanentes para salvaguardar la soberanía, independencia, integridad del territorio y el orden constitucional de la nación (Constitución Política de Colombia, 1991). En consecuencia, la FAC debe asegurar la soberanía del espacio aéreo colombiano, incluyendo el segmento de la órbita geoestacionaria, el espectro electromagnético y el espacio donde actúa. Esta utilización del espacio se realiza en cumplimiento de lo estipulado en la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU); por esta razón es indispensable buscar la autonomía operacional y tecnológica que permita dominar el espacio (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

Por otro lado, con el fin de cumplir con el fundamento legal y misional de la FAC, para lograr los objetivos aéreos, espaciales y ciberespaciales, es necesario la interacción con otras entidades del Estado para alcanzarlos, tales como la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) y la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) (Inzelt, 2004), (Kolade, Adegbile, & Sarpong, 2022). Esto es posible, mediante la formulación de planes y programas definidos por el Gobierno (Fuerza Aérea Colombiana, 2020), y la cooperación interinstitucional con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (UAEAC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Universidad Nacional de Colombia (Sánchez y Cárdenas, 2010). No obstante, de acuerdo con Dallamuta & Rocha de Oliveira (2023), es necesario para potencializar el avance y recibir los beneficios de las actividades desarrolladas en el espacio ultraterrestre, a través de una agencia espacial nacional, capaz de articular de manera orgánica todos los actores del ecosistema para cumplir con los objetivos del país.

1.1.1 Misión de la FAC

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) asegura la soberanía, independencia, integridad territorial y el orden constitucional, además de contribuir a los objetivos del Estado al cumplir con la misión de volar, entrenar y combatir, esto con el fin de vencer y dominar, no solamente el aire sino ampliarse tanto al espacio como al ciberespacio (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020). En cumplimiento de esta misión, la FAC desarrolló un programa espacial que incluye la consolidación de las operaciones espaciales, el control



del acceso al espacio, el desarrollo de sistemas espaciales y la explotación de los datos adquiridos por los activos en el espacio.

El proyecto FACSAT-2 se alinea con el propósito de «entrenar», al emplear un programa de transferencia de conocimiento para el desarrollo del proyecto, se busca apropiar capacidades en el ámbito del poder espacial. Además, contribuye al propósito de «combatir» las amenazas en el territorio nacional, empleando el activo espacial para actividades de inteligencia y vigilancia de la explotación indiscriminada de recursos naturales y amenazas inminentes a la seguridad.

El 28 de noviembre de 2018, la FAC cumplió un hito importante en su Plan Estratégico Institucional (PEI), al poner en órbita el primer activo espacial, FACSAT-1. Este logro se materializó como parte del cumplimiento de la misión de la FAC.

En el contexto actual, el cumplimiento del proyecto FACSAT-2 contribuye con los dos desafíos estratégicos de la FAC: el desarrollo espacial en el ámbito de la defensa y el país, y la promoción del beneficio y bienestar tanto de los colombianos como de la humanidad a través del uso pacífico del espacio (Minciencias, 2021; Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2020, p. 37).

1.1.2 Visión de la FAC

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) delinea una visión estratégica que abarca hasta el año 2042, que representa una hoja de ruta clara para su futuro desarrollo enfocada en tres aspectos principales: ejercer dominio en el aire, espacio y ciberespacio; fortalecer el talento humano; y desarrollar capacidades espaciales y tecnológicas avanzadas. Esta visión establece una guía para la evolución y expansión en el ámbito espacial y aeroespacial de la FAC (ver **Tabla 1**) (Fuerza Aérea Colombiana, 2020, p. 15).

Tabla 1. Síntesis de la visión de la FAC

ASPECTO	ANÁLISIS DE LA VISIÓN	METAS
1. Dominio en aire, espacio y ciberspacio	La FAC busca ser innovadora, polivalente, interoperable y un líder regional y global con capacidades disuasivas sólidas, permanentes y sostenibles. Esto implica la búsqueda de la innovación constante, la adaptabilidad a múltiples roles y escenarios, y la capacidad de trabajar de manera efectiva con otras fuerzas a nivel regional y global. La FAC aspira a ser líder y preferente en la región, con capacidades reales y sostenibles de disuasión. (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2020)	- Desarrollar nuevas tecnologías aeronáuticas y espaciales. - Fortalecer la interoperabilidad con fuerzas internacionales. - Implementar estrategias de disuasión sostenibles.
2. Fortalecimiento del talento humano	La nueva visión apunta al fortalecimiento del talento humano, demandando de profesionales altamente capacitados, tanto militares como civiles, que trabajen en equipo para salvaguardar los intereses nacionales y hemisféricos (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020)	- Capacitar continuamente al personal militar y civil - Fomentar el trabajo en equipo. - Atraer y retener talento altamente capacitado.
3. Desarrollo de capacidades espaciales	La FAC se centra en el desarrollo de capacidades espaciales y la adopción de tecnologías de vanguardia para beneficio de la sociedad. Esto incluye la incursión en nuevos dominios de la guerra, como el ciberspacio (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020)	- Implementar tecnologías de vanguardia en operaciones espaciales. - Desarrollar capacidades en ciberdefensa. - Beneficiar a la sociedad con innovaciones tecnológicas.

Fuente: Fuerza Aérea Colombiana (2020, p. 15); Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020); Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P. (2020).

Al buscar el desarrollo y lanzamiento de satélites de manera autónoma, la FAC está avanzando en la construcción de capacidades espaciales que respaldarán su papel como referente regional y continental en el ámbito espacial (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).



1.2 FUNCIONES DE LA FAC

Según el *Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial (DBAEC)* en su quinta edición, la FAC establece sus funciones como responsabilidades y objetivos fundamentales en el cumplimiento de su misión institucional (Fuerza Aérea Colombiana, 2020). La naturaleza de la FAC, sus capacidades como una fuerza militar, así como el Plan de Acción en Entornos Cibernéticos (PAEC) y sus particularidades influyen en la definición de estas funciones.

En concordancia con los principios y la doctrina del PAEC bajo la dirección de la FAC, y en consonancia con los lineamientos de la OTAN, se han delineado las funciones relevantes para la misión FACSAT-2. La **Tabla 2** detalla estas funciones, proporcionando una descripción de las misiones típicas relacionadas con cada una de ellas. Las responsabilidades de la FAC están alineadas con la misión espacial y se relacionan con las actividades y objetivos específicos del proyecto FACSAT-2.

Tabla 2. Funciones de FAC relacionadas con la misión espacial FACSAT-2

FUNCIÓN	MISIÓN TÍPICA	OPERACIÓN
Dominar el aire, el espacio y el ciberespacio	Contrapoder Espacial	Contrapoder Espacial Ofensivo
		Contrapoder Espacial Defensivo
		Acceso al Espacio
		Explotación de Activos Espaciales
Gestionar IVR (inteligencia, vigilancia, reconocimiento)	IVR Espacial	Inteligencia Espacial
		Vigilancia Espacial
		Reconocimiento Espacial
Contribuir a los fines del Estado	Gestión del Riesgo	Vigilancia y reconocimiento en áreas de riesgo o afectadas por desastres naturales

Fuente: Adaptado de Fuerza Aérea Colombiana (2020).

En resumen, el proyecto contribuirá significativamente al logro de tres de las ocho funciones y 25 misiones establecidas, alineándose con los objetivos de la OTAN.

1.3 ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO AÉREO Y ESPACIAL DE LA FAC AL 2042

El Plan Estratégico Institucional de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) hasta 2042 tiene como objetivo principal lograr una administración más eficiente, donde todos los procesos se centran en tres áreas clave: operaciones, logística y personal. Además, este enfoque estratégico facilita el seguimiento de los progresos a través de la definición de objetivos a corto, mediano y largo plazo (Fuerza Aérea Colombiana, 2022, 2021, p. 4).

1.3.1 Políticas institucionales FAC

La **Tabla 3** presenta una síntesis de las contribuciones clave a la misión espacial FACSAT-2 desde la perspectiva de las políticas institucionales. Esto resalta la importancia de un análisis basado en políticas en el contexto de los ámbitos fundamentales desarrollo y la implementación de proyectos espaciales de esta magnitud.

Tabla 3. Políticas de la FAC que aportan al desarrollo del Programa FACSAT

ÁMBITO FUNDAMENTAL	POLÍTICA
Talento humano	Liderazgo
	Gestión del conocimiento y la formación.
Misionalidad	Liderazgo operacional
	Inteligencia
	Proyección espacial
Soporte	Modelo integrado de gestión FAC
	Gestión de la ciencia, tecnología e innovación
	Gestión del riesgo
	Gestión presupuestal y eficiencia del gasto público
	Relaciones institucionales
	Protección del medio ambiente
Inspección y control	Control interno
	Seguridad operacional e industrial

Fuente: Adaptado de Fuerza Aérea Colombiana (2020).



El proyecto tiene un impacto significativo en el desarrollo y fortalecimiento de los cuatro ámbitos institucionales que están vinculados con las políticas establecidas por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

1.3.2 Áreas misionales de las FAC

En este proceso estratégico, la FAC integra las áreas misionales del Sector Defensa y Seguridad, lo que implica la construcción de un marco conceptual que abarca tanto los aspectos tradicionales como no tradicionales del desarrollo y empleo de las capacidades de la Fuerza Pública. Además, se definen las responsabilidades que subdividen la misión constitucional de la FAC (Fuerza Aérea Colombiana, 2020, p. 32; Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020). La **Tabla 4** detalla cómo el proyecto contribuye a la consolidación de la estrategia de la FAC.

Tabla 4. Aporte del programa FACSAT a las Áreas Misionales FAC

TIPO DE ÁREA MISIONAL	IDENTIFICACIÓN Y PROPÓSITO
Propias del sector defensa y seguridad	Defensa nacional
	Seguridad pública
	Cooperación internacional
Contribución del sector defensa y seguridad	Contribución a la gestión del riesgo de desastres
	Contribución a la protección de los recursos naturales y del medio ambiente
	Contribución al desarrollo del país

Fuente: Adaptado de Fuerza Aérea Colombiana (2020, p. 29).

Es relevante destacar que, desde las áreas misionales, el proyecto contribuye significativamente a seis (6) de las ocho (8) áreas establecidas. Esto subraya su importancia fundamental y su contribución al desarrollo del marco estratégico de la FAC.

1.3.3 Capacidades y oferta de valor de la FAC

De acuerdo con el Diccionario de Planeación de Capacidades de la Fuerza Pública, que se cita en el documento “Estrategia para el desarrollo aéreo y espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042,” el concepto de “capacidad” en el contexto militar es esencial para

comprender cómo las fuerzas armadas se preparan y ejecutan sus misiones de manera efectiva. Esta habilidad se logra mediante la combinación de diversos componentes, que incluyen la doctrina y los documentos que respaldan la capacidad, la organización, el material y equipo, el personal y la infraestructura (DOMPI)” (Ministerio de Defensa Nacional, 2018, p. 16). La noción de capacidad va más allá de simplemente tener el equipo adecuado o el personal entrenado. Implica la combinación cuidadosamente coordinada de varios elementos clave que trabajan en conjunto para lograr un objetivo específico. Estos elementos están descritos en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Definiciones DOMPI

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Doctrina	Principios y directrices que rigen las operaciones militares, proporcionando un marco teórico y práctico para la planificación y ejecución de misiones. Adaptada a circunstancias cambiantes.
Organización	Estructura organizativa que asigna responsabilidades y coordina el trabajo en equipo. Asegura que cada miembro conozca su función y se integre en el conjunto más amplio.
Material y equipos	Material y Equipo necesario para tareas específicas, incluyendo armamento, vehículos, tecnología de comunicación, sistemas de vigilancia, etc. Varía según la misión y entorno.
Personal	Formación y preparación del personal, abarcando capacitación básica, especializada, desarrollo de habilidades y experiencia. Fundamental para el desempeño efectivo.
Infraestructura	Instalaciones estratégicas como bases militares, centros de mando, puertos, aeropuertos y otros sitios que respaldan las operaciones militares, tanto en aspectos físicos como tecnológicos.

Conforme al *Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial (DBAEC)* de 2020, la planificación basada en capacidades se describe como una metodología analítica que perfecciona la calidad de la información disponible para los responsables de la toma de decisiones, (Fuerza Aérea Colombiana, 2020, p. 20).

Siguiendo la definición mencionada, las capacidades juegan un papel fundamental al identificar las variables involucradas en la planificación, tanto en el presente como en el futuro, con el propósito de satisfacer las necesidades de las áreas misionales y los requerimientos de los grupos de valor. Es importante recordar que las misiones de las



fuerzas militares se centran en la protección, el fuego, el movimiento y la maniobra, el mando y control, la inteligencia, el sostenimiento y el soporte.

La implementación y evolución del proyecto FACSAT-2 posibilitará que la FAC continúe fortaleciendo sus misiones de inteligencia, enfocándose en la vigilancia y reconocimiento en sus diversas áreas, incluyendo zonas rurales, urbanas, fronterizas, ricas en biodiversidad, recursos naturales, infraestructura crítica y redes de energía y transporte. Esto resultará en una ventaja significativa en términos de recopilación de información y permitirá la integración de operaciones en los ámbitos aéreo, espacial y ciberespacial, con el propósito de prevenir, abordar y responder a cualquier amenaza que ponga en peligro la seguridad pública (Fuerza Aérea Colombiana, 2020, p. 36).

Además, el proyecto contribuirá al desarrollo y consolidación de las 20 capacidades distintivas de la FAC, tal como se detallan en el *Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial*, edición 2020. Esto incluye un compromiso firme con el control y la protección del medio ambiente, la gestión de servicios de navegación aérea para la Fuerza Pública, la promoción de investigaciones y desarrollos en la aeronáutica, el aseguramiento de la superioridad en el ciberespacio en operaciones aéreas y espaciales, la potenciación de la capacidad aérea y espacial a través del uso del ciberespacio como apoyo y alternativa a otros dominios, la explotación del espacio ultraterrestre y la realización de operaciones espaciales.

a) Contribución a los fines del Estado

Existen diversos modelos de programas espaciales en el mundo. Estudiar la evolución de estos programas es clave para avanzar en el benchmarking, la inteligencia competitiva y las investigaciones académicas relacionadas con políticas y estrategias espaciales. Esto resulta fundamental para su implementación en naciones que buscan desarrollar capacidades en tecnología espacial (Dallamuta & Rocha de Oliveira, 2023).

Coutinho, Cretan y Jardim-Goncalves (2013) y Wood y Weigel (2012), analizaron los trayectos históricos de ocho países en África, Asia y Suramérica, identificando estrategias para alcanzar capacidades tecnológicas en el ámbito espacial en tres etapas principales, cada una enfocada en evaluar aspectos específicos del desarrollo tecnológico y la consolidación de capacidades espaciales, así:

1. Introducción del marco denominado “Escala de tecnología espacial” (Space Technology Ladder – STL);
2. Utilización de los datos de las naciones para crear una línea de tiempo gráfica donde se vean mapeados los logros históricos en el marco de STL; y,
3. Discusión de las decisiones estratégicas que enfrentan los países que fueron sometidos al estudio (Wood & Weigel, 2012).

El modelo STL, esencialmente, propone una secuencia a través de cuatro categorías principales de tecnología, según señalan Wood y Weigel (2012) en su estudio sobre la evolución de los programas satelitales en países en desarrollo:

1. Establecer una agencia espacial;
2. Poseer y operar satélites en órbita terrestre baja (Low Earth Orbit – LEO);
3. Poseer y operar un satélite en órbita geoestacionaria – GEO;
4. Lanzamiento de satélites

Con la puesta en marcha de la misión espacial FACSAT-1 según el modelo que propone Dallamuta & Rocha de Oliveira (2023), Colombia se convirtió en uno de los ocho (8) países de Sudamérica y tres (3) Centroamérica que tiene un satélite espacial, que es operado y explorado por colombianos, y, por lo tanto, estaría ubicado en el tercer nivel de la escala como se observa en la **Tabla 6**, consolidándose como un operador de satélites LEO adquiridos con servicios de entrenamiento. Se muestran las relaciones entre diferentes actores, como lanzadores de satélites, fabricantes de satélites, operadores de satélites, integradores de pequeños satélites y agencias espaciales, en función de su participación en actividades relacionadas con órbitas geoestacionarias (GEO) y órbitas bajas (LEO) y cómo pueden estar involucrados en la construcción, lanzamiento y operación de satélites en estas órbitas (Minciencias, 2021).

Tabla 6. Modelo de escala de tecnología espacial STLD

NIVEL DE AVANCE STLD	RELACIONES GEO (ÓRBITA GEOESTACIONARIA)	RELACIONES LEO (ÓRBITA BAJA)
1) Agencia Espacial	- Agencia espacial nacional - Primer órgano gubernamental para actividades espaciales	
2) Integrador de pequeños satélites		- Integrador de nanosatélites



NIVEL DE AVANCE STLD	RELACIONES GEO (ÓRBITA GEOESTACIONARIA)	RELACIONES LEO (ÓRBITA BAJA)
3) Operador de satélite	- Satélite GEO adquirido con servicios de entrenamiento	- Satélite LEO adquirido con servicios de entrenamiento
	-	- Satélite LEO construido con soporte en las instalaciones de socio*
4) Fabricador de satélite	- Satélite GEO construido localmente con asistencia externa	- Satélite LEO construido localmente con asistencia externa
	- Satélite GEO construido en colaboración internacional mutua	- Satélite LEO construido en colaboración internacional mutua
	- Satélite GEO construido localmente	- Satélite LEO construido localmente
5) Lanzador de satélites	Lanzamiento en GEO	Lanzamiento en LEO
STLD+. Misiones de Exploración Espacial		

Nota. *Caso misión FACSAT-2. Fuente: Adaptado de Dallamuta & Rocha de Oliveira (2023).

Con el avance del programa FACSAT, la FAC persigue establecer un marco de colaboración en el que los actores involucrados en el desarrollo de los proyectos promuevan la adquisición de conocimientos, la formación del personal, acuerdos de coordinación y cooperación internacional.

Esto no solo fortalecerá la transferencia tecnológica, sino que también requerirá infraestructuras para la integración y operación de satelitales. Asimismo, se busca fomentar la sinergia con otras instituciones nacionales, impulsando el crecimiento del sector espacial, lo que a su vez beneficiará a la industria y la academia.

La FAC aspira a ser líder en la gestión y administración de activos espaciales para el beneficio de todos los colombianos en actividades propias de la defensa y seguridad, así como en otras relacionadas con la contribución al orden nacional y territorial (Fuerza Aérea Colombiana, 2021, p. 10).

En última instancia, el objetivo de dominio tecnológico espacial a largo plazo es que la FAC cuente con la capacidad de conducir operaciones espaciales de manera autónoma, con capacidades sostenibles que permitan la libertad de acción en el multidominio y garanticen la protección de la infraestructura crítica del Estado.

Esta visión también tiene un componente de proyección regional y global, lo que implica un esfuerzo por parte de Colombia en posicionarse como un actor en el ámbito

espacial en América Latina. Además, al abordar temas como la observación de la Tierra, la prevención de desastres y la protección de recursos naturales, la FAC demuestra su interés en cuestiones de relevancia tanto nacional como regional (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

Esta visión de la FAC muestra el cómo las instituciones militares pueden contribuir al desarrollo tecnológico y científico de un país con esfuerzos que impactan en la política nacional y regional.

1.3.4 Plan de desarrollo de la FAC

El Plan de Desarrollo la FAC se proyecta en un horizonte de tiempo de tres etapas: 2022, 2030 y 2042, para dar respuesta a las necesidades futuras de la nación en materia de defensa y seguridad. En la **Tabla 7**, se presentan el modelo de análisis de capacidades a nivel de Doctrina, Organización, Material y equipo, Personal e Infraestructura (DOMPI) (Fuerza Aérea Colombiana, 2020, p. 53).

Tabla 7. Proyección del desarrollo espacial de la FAC

DOMPI	2022	2030	2042
Doctrina	- Actualización doctrina.	- Desarrollo doctrina multidominio e interoperable.	- Consolidación doctrina multidominio interoperable y adaptable.
Organización	- Creación jefatura de operaciones espaciales.	- Organización dinámica, eficiente y flexible.	- Lideres en organizaciones multinacionales en el control del aire, espacio y ciberespacio.
Materiales y Equipos	- Adquisición Escuadrón de Superioridad Aérea, sistema de defensa antiaérea y FACSAT-2. - Mantenimiento eficaz de los activos aéreos, espaciales y Ciberespaciales. - Actualización equipos de Inteligencia.	- Adquisición de activos, para el fortalecimiento y autonomía de capacidades en el aire, espacio y ciberespacio. - Gestión del material con ciclo de vida controlada y costo efectivo. - Mantenimiento eficiente de los activos aéreos, espaciales y ciberespaciales.	- Adquisición de material y equipo requerido, para el desarrollo de las capacidades que aseguran la superioridad y el dominio en el aire, espacio y el ciberespacio para disuadir, enfrentar y derrotar a la amenaza. - Consolidación de la tecnología como diferenciador. - Mantenimiento efectivo de los activos aéreos, espaciales y ciberespaciales.
Personal	- Primer astronauta FAC.		



DOMPI	2022	2030	2042
Infra- estructura	- Construcción Centro de Desarrollo Espacial FAC (SpOC).	- Instalaciones y redes óptimas, sostenibles y protegidas, localizadas geoestratégicamente para la defensa de los intereses nacionales. - Consolidación de capacidades del Centro de Desarrollo Espacial FAC (SpOC).	- Consolidación del soporte y construcción de instalaciones y redes, con tecnología de punta, automatizadas, sostenibles, protegidas e inteligentes.

Fuente: Adaptado de Fuerza Aérea Colombiana (2020, p. 53).

El plan estratégico de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) establece una visión a largo plazo para el desarrollo de capacidades espaciales, de defensa y ciberespaciales del país. Este plan se organiza en tres horizontes de tiempo: 2022, 2030 y 2042, cada uno con objetivos específicos en áreas como Materiales y Equipos, Personal, Infraestructura física y tecnológica. En la **Tabla 8**, se presenta una síntesis de las proyecciones y metas establecidas para cada horizonte.

Tabla 8. Proyección Estratégica de la FAC

HORIZONTE	COMPONENTES	METAS Y PROYECCIONES
2022	Materiales y Equipos	- Adquisición y consolidación de activos espaciales como FACSAT-2 y el Centro de Operaciones Espaciales (SpOC).
	Materiales y Equipos	- Consolidación de la autonomía de observación de la tierra. - Adquisición de activos espaciales adicionales.
2030	Personal	- Lanzamiento del primer astronauta de la FAC.
	Infraestructura	- Desarrollo de instalaciones y redes estratégicas, sostenibles y protegidas. - Fortalecimiento del Centro de Control y Desarrollo Espacial de la FAC.
		- Consolidación del Sistema Integrado de Defensa Aérea, Espacial y Ciberespacial Nacional (SISDAECN) (Rodríguez A, 2021).
2042	Materiales y Equipos	- Desarrollo de tecnologías en inteligencia artificial y Big Data. - Mantenimiento de una constelación de satélites para comunicaciones e imágenes-radar.

HORIZONTE	COMPONENTES	METAS Y PROYECCIONES
2042	Personal	- Posicionamiento internacional de la FAC en control del aire, espacio y ciberespacio.
	Infraestructura	- Construcción de infraestructura automatizada e inteligente. - Alianzas internacionales para el desarrollo de capacidades espaciales.

Fuente: Adaptado de Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020) y Universidad Nacional de Colombia & Fuerza Aérea Colombiana (2020, p. 56, 58).

Se resume la evolución de las capacidades de la FAC en el ámbito espacial, de defensa y ciberespacial. El horizonte 2022 se centra en el establecimiento inicial de activos y capacidades espaciales. Para 2030, se proyecta una consolidación de capacidades de Observación de la tierra, incluyendo avances significativos en infraestructura y personal especializado. Finalmente, el horizonte 2042 busca posicionar a la FAC como líder internacional, con un enfoque en la superioridad en múltiples dominios, conduciendo operaciones espaciales ofensivas y defensivas, y el uso avanzado de tecnologías en comunicaciones, ciberespacio y guerra electrónica.

A pesar de proyección demostrar un análisis estratégico que aporta al desarrollo y crecimiento de sector espacial, la FAC debería considerar proyectar su capacidad teniendo en cuenta los siguientes aspectos, de acuerdo con las propuestas y reflexiones realizadas por Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020) y Universidad Nacional de Colombia & Fuerza Aérea Colombiana (2020):

- El Estado que navegue por el espacio requiere una capacidad de lanzamiento espacial autónoma para las operaciones de defensa nacional.
- El objetivo no debe ser únicamente tener un acceso al espacio, es contar con activos espaciales, controlar el medio espacial y disuadir a los potenciales adversarios espaciales (Álvarez, Barón y Monroy, 2018).
- Las fuerzas espaciales requieren un comando y control centralizado dirigido por profesionales del espacio.
- El poder espacial debería ser el resultado de un esfuerzo a nivel nacional.
- El poder espacial nacional alcanza su pleno potencial cuando un Estado se compromete con la constitución de una fuerza espacial independiente.
- Existe ausencia de una política que integre los diversos sectores (Estado, Universidad y Empresa) y que permitan impulsar el desarrollo y la tecnología del sistema de CTel de la FAC.



- El desaprovechamiento de las capacidades y potencialidades de la Fuerza Aérea Colombiana que permitan desarrollar programas de investigación, desarrollo e innovación dentro del sistema de CTel.
- La desarticulación entre los programas y líneas de acción que actualmente existen, que evitan generar una capacidad mayor en la generación de nuevo conocimiento y desarrollos tecnológicos.
- El presupuesto destinado al desarrollo espacial debe ser soportado por políticas del Estado, las cuales deben propender por la colaboración de los sectores privados y gobiernos conexos que quieran cooperar en esta iniciativa de crecimiento.
- Se debe consolidar la industria nacional y académica (universidades) con el fin de garantizar la sustitución de las tecnologías importadas.

Aunque la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ha demostrado un sólido análisis estratégico para el desarrollo del sector espacial, aún existen áreas clave que requieren mayor atención para fortalecer su capacidad y autonomía en el espacio. Las propuestas de colaboración entre la Universidad Nacional de Colombia y la FAC resaltan aspectos fundamentales que deben ser considerados. A continuación, se presenta una síntesis de estas recomendaciones (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2020; Universidad Nacional de Colombia & Fuerza Aérea Colombiana, 2020) (ver **Tabla 9**).

Tabla 9. Recomendaciones para el Desarrollo Espacial de la FAC

ASPECTO CLAVE	RECOMENDACIÓN
Capacidad de Lanzamiento	Desarrollar una capacidad de lanzamiento espacial autónoma para operaciones de defensa nacional.
Control del Medio Espacial	No solo asegurar el acceso al espacio, sino también controlar activos espaciales y disuadir a adversarios potenciales.
Comando y Control	Establecer un comando y control centralizado dirigido por profesionales del espacio.
Esfuerzo Nacional Coordinado	El poder espacial debe ser un esfuerzo nacional, con un compromiso hacia la creación de una fuerza espacial independiente.
Política Integral	Desarrollar una política que integre Estado, Universidad y Empresa para impulsar el desarrollo tecnológico en el sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) de la FAC.

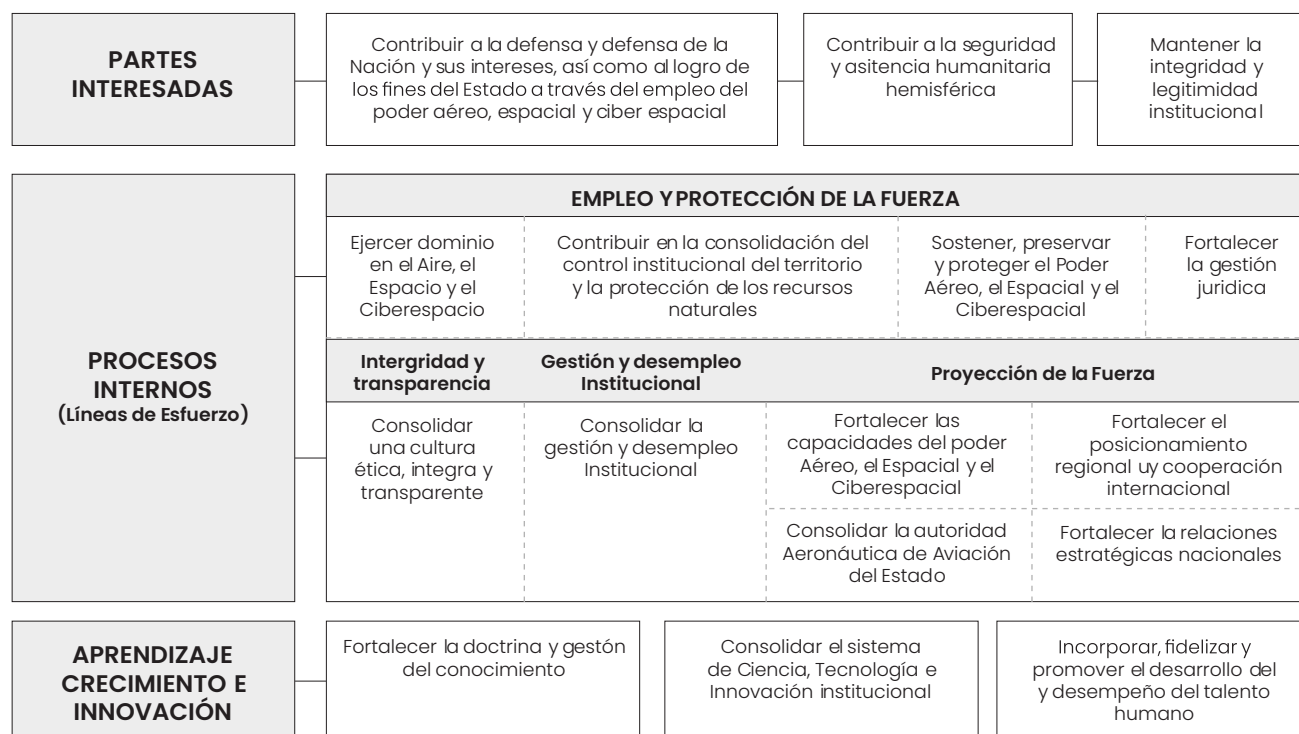
ASPECTO CLAVE	RECOMENDACIÓN
Aprovechamiento de Capacidades	Potenciar las capacidades de la FAC para desarrollar programas de investigación, desarrollo e innovación dentro del sistema de CTel.
Coordinación de Programas	Mejorar la coordinación entre programas y líneas de acción existentes para fortalecer la generación de conocimiento y desarrollos tecnológicos.
Apoyo Presupuestal y Político	Asegurar el apoyo del Estado y fomentar la colaboración con el sector privado y gobiernos aliados para sostener el presupuesto destinado al desarrollo espacial.
Consolidación de la Industria Nacional	Consolidar la industria nacional y el sector académico para sustituir tecnologías importadas.

Fuente: Adaptado de Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020) y Universidad Nacional de Colombia & Fuerza Aérea Colombiana (2020).

La **Tabla 9** presenta un conjunto de recomendaciones estratégicas para la FAC, orientadas a fortalecer la capacidad espacial nacional. Estas incluyen el desarrollo de una capacidad de lanzamiento autónoma, el control del espacio, y la creación de una fuerza espacial independiente. Además, enfatiza la necesidad de una política integral que coordine los esfuerzos del Estado, la academia y el sector privado, y la importancia de consolidar la industria nacional para reducir la dependencia tecnológica. Estas medidas buscan potenciar el papel de Colombia en el ámbito espacial y asegurar la defensa y seguridad nacional en el espacio.

1.4 MAPA ESTRATÉGICO DE LA FAC

Se fundamenta en la metodología Balanced Scorecard (BSC), el cual es un modelo de gestión que permite tener una visión general, conjunta e interrelacionada de los objetivos de una organización, teniendo en cuenta cuatro (4) perspectivas: perspectiva del cliente, procesos internos, aprendizaje, crecimiento e innovación y perspectiva financiera. Este modelo fue presentado por primera vez en 1992 en la revista Harvard Business Review, con base en un trabajo realizado para una empresa de semiconductores por parte de Robert Kaplan y David Norton (Delgado L. , 2021). Tomando como punto de partida este modelo, la FAC definió su mapa de procesos adaptando tres de las cuatro perspectivas identificadas. En la **Figura 1**, se presenta el mapa de procesos actualizado FAC.

**Figura 1. Mapa Estratégico FAC 2022**

Fuente: Adaptado de Fuerza Aérea Colombiana (2020, p. 74).

Tomando como punto de partida el mapa estratégico de la FAC, se contribuirá en las partes interesadas en la “Defensa y seguridad de la Nación y sus intereses”, así como en el logro de los objetivos del Estado mediante la utilización del poder aéreo, espacial y ciberespacial. En los procesos internos, la FAC participará en las líneas que se presentan en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Contribuciones de la FAC en el empleo y protección de la fuerza

LÍNEA DE ACCIÓN	ACTIVIDADES
Empleo y protección de la Fuerza	1. Ejercer el dominio en el aire, el espacio y el ciberespacio.
	2. Contribuir a la consolidación del control institucional del territorio y la protección de los recursos naturales.
	3. Sostener, preservar y proteger el poder aéreo, espacial y ciberespacial.
	4. Fortalecer la gestión jurídica.

LÍNEA DE ACCIÓN	ACTIVIDADES
Protección de la Fuerza	1. Fortalecer las capacidades del poder aéreo, espacial y ciberespacial.
	2. Fortalecer el posicionamiento regional y la cooperación internacional.
	3. Fortalecer las relaciones estratégicas nacionales.

Estas acciones y contribuciones dan soporte al cumplimiento de la misión institucional de la FAC y dan parte de garantía para la defensa y seguridad de la Nación, así como para la protección y preservación del poder aéreo, espacial y ciberespacial en el cumplimiento de los objetivos del Estado. La FAC no solo se dedica a mantener el dominio en estos ámbitos, sino que también trabaja en la consolidación del control territorial y la protección de recursos naturales. Además, al fortalecer sus capacidades y relaciones tanto a nivel regional como internacional, la FAC contribuye significativamente a la seguridad y la defensa nacional. Estas acciones subrayan el compromiso de la FAC con la excelencia operativa y la cooperación estratégica, garantizando una postura sólida y efectiva en el contexto global y regional.

Para finalizar todos los proyectos desarrollados deben aportar desde la perspectiva de aprendizaje, crecimiento e innovación a fortalecer la doctrina y la gestión de conocimiento, consolidar el sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación institucional; e incorporar, fidelizar y promover el desarrollo y desempeño del talento humano.

1.5 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS DE LA FAC

El programa FACSAT, un instrumento de la Fuerza Aérea Colombiana, contribuye a los objetivos estratégicos de la FAC, alineando sus actividades con las perspectivas establecidas en el Mapa Estratégico como se observa en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Contribución del Programa FACSAT a los objetivos Estratégicos de la FAC

PERSPECTIVA ESTRATÉGICA	IDENTIFICACIÓN Y PROPÓSITO
Partes interesadas	Empleo del poder espacial y ciberespacial



PERSPECTIVA ESTRATÉGICA	IDENTIFICACIÓN Y PROPÓSITO
Procesos internos	• Dominio en el espacio y el ciberespacio.
	• Contribuir a la consolidación del control institucional del territorio y la protección de los recursos naturales.
	• Sostener, preservar y proteger el poder espacial y ciberespacial.
	• Fortalecer la gestión jurídica.
	• Fortalecer las capacidades del poder espacial y ciberespacial.
	• Fortalecer el posicionamiento regional y la cooperación internacional.
	• Fortalecer las relaciones estratégicas nacionales.
Aprendizaje, crecimiento e innovación	• Consolidar el sistema de ciencia, tecnología e innovación institucional.
	• Incorporar, fidelizar y promover el desarrollo y desempeño del talento humano.
	• Fortalecer la doctrina y la gestión del conocimiento.

Fuente: Adaptado de Fuerza Aérea Colombiana (2020, p. 75).

De acuerdo con el anterior resumen relacionado con los Objetivos Estratégicos el proyecto de análisis actual de la factibilidad de la misión espacial FACSAT-2 contribuirá al desarrollo y cumplimiento de 11 de los 16 objetivos formulados de manera directa, en las tres perspectivas establecidas.

En suma, el desarrollo de la misión FACSAT-2 contribuye con el logro de los propósitos estratégicos de la FAC en el horizonte temporal que abarca hasta el año 2042, al ser un hito significativo en la seguridad y la integridad de Colombia al (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

- Desarrollar capacidades críticas en el ámbito aeroespacial y alinearse con los objetivos estratégicos de la FAC.
- Contribuir significativamente a la misión de la FAC en su compromiso con la defensa y seguridad del país.

1.6 CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGÍAS AEROESPACIALES (CITAE)

Creado el 25 de julio de 2002 en la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI), bajo la Resolución 00311, el Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) es un centro dependiente de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), ubicado en las instalaciones de la EMAVI en Santiago de Cali, Valle del Cauca. Desde 2018, al CITAE se le asignó la responsabilidad del Programa Espacial de la FAC, encargándose de las actividades relacionadas con ciencia y tecnología (SECAD-FAC, 2016, citado por Caro Mejía, 2019, p. 20; Pérez Díaz & Sáenz Acuña, 2019, p. 80).

De acuerdo con la Mayor Sonia Rincón, citada por Álvarez Calderón y Corredor Gutiérrez (2019), el CITAE tiene como objetivo fomentar la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) mediante la transferencia tecnológica interdisciplinaria en función de las necesidades del Programa Espacial de la FAC. Este proceso integra la tríada de colaboración entre el Estado, la academia y la empresa privada. Además, apoya a la academia facilitando el acceso y la interacción con los activos espaciales, y socializa a diversos sectores productivos los beneficios del uso y aplicación de estas tecnologías. Estas actividades permiten al CITAE realizar el comando, control y monitoreo satelital; el diseño de sistemas espaciales; la integración de subsistemas; la implementación de infraestructura, y el posprocesamiento de datos espaciales.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el CITAE en relación con el comando, control y monitoreo satelital, estableció la capacidad de operar, monitorear y controlar el nano satélite FACSAT-1 desde la estación terrena situada en la EMAVI, por medio del cual se capturan de imágenes de áreas de interés tanto del territorio colombiano, como del mundo, que se constituyen en materia prima para la generación de cartografía, vigilancia forestal, medio ambiente, recursos hídricos y minería ilegal, entre otros (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p 44; Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

Con relación al procesamiento de imágenes se está realizando un estudio empleando de redes neuronales, buscando identificar a minería a cielo abierto. Del mismo modo, con respecto al diseño de sistemas satelitales, el CITAE contribuye a la apropiación del conocimiento y capacidades en la ejecución de misiones satelitales, generando doctrina en ingeniería de sistemas, divulgación científica e impulsando desde CTel el desarrollo



de la industria espacial colombiana (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p. 44), (Minciencias, 2022).

Complementario a los programas y proyectos desarrollados, el CITAE aportan al PEI de la FAC, a través de la generación de capacidades relacionadas al diseño de sistemas espaciales, investigación y desarrollo en software y tecnología digital, aplicación de inteligencia artificial a sistemas espaciales, tecnología para vehículos y plataformas de lanzamiento, así como, la implementación de la capacidad para ensamble, integración y pruebas de componentes con calificación espacial.

De acuerdo con su perspectiva estratégica, se presentan los Programas, Subprogramas y Líneas Estratégicas de Investigación según el Modelo de Investigación del Sistema Educativo de la Fuerza Aérea Colombiana para el año 2018, que se relacionan con el Programa FACSAT (ver **Tabla 12**).

Tabla 12. Líneas de Investigación del programa espacial de la FAC relacionados con programa FACSAT

PROGRAMA	SUBPROGRAMA	LÍNEA
Programa Espacial FAC (Generar nuevas capacidades como resultado de ACTI en ciencia y tecnología espacial para ser líder en el ámbito nacional y referente regional)	Talento Humano	Entrenamiento para misiones espaciales
	Desarrollo y Competitividad	Productos y servicios espaciales
	Proyectos de Desarrollo Espacial	Impulso a la Industria Espacial
		Plataformas y vehículos espaciales
		Sistemas de carga espacial
		Satélites (Ópticos, Comunicaciones, Navegación)
		Sistemas de misión espacial
	Organización, Gobernanza y Gestión de los Datos Espaciales	Doctrina Militar Espacial

Fuente: FAC (2018).

Desde tres de los cuatro subprogramas establecidos, siendo el eje fundamental para su desarrollo.

1.7 PROGRAMA FACSAT

Hasta finales de la década de los años 90, y como consecuencia del conflicto armado se generó la necesidad de innovar e incorporar aplicaciones tecnológicas y espaciales para mejorar las capacidades operativas en respuesta a este conflicto. Según Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2019, p. 37), se introdujeron y desarrollaron capacidades basadas en tecnología espacial de vanguardia, entre las cuales se incluyen:

- Comando y control satelital
- Navegación aérea y espacial
- Utilización de armamento de precisión mediante guía satelital
- Geoposicionamiento global
- Pronósticos meteorológicos basados en información proveniente del espacio
- Comunicaciones satelitales
- Inteligencia
- Medicina aeroespacial
- Vigilancia del espacio aéreo
- Administración de estaciones satelitales terrenas
- Control de activos satelitales
- Descarga, almacenamiento y procesamiento de imágenes y datos

Estas capacidades, impulsadas por la tecnología espacial, han sido fundamentales para mejorar la eficacia y eficiencia de las operaciones militares, potencializando el dominio aéreo para garantizar la seguridad y defensa del territorio colombiano.

A partir del año 2000, la FAC reconociendo los beneficios a la seguridad del país, su defensa, progreso económico y social, dio inicio a una serie de iniciativas para fortalecer el poder y su capacidad espacial como se evidencia en la **Tabla 13**. Tales iniciativas se pueden resumir como los hitos y eventos significativos en la evolución de la Fuerza Aérea Colombiana según Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2019, p. 37).

**Tabla 13.** Iniciativas FAC para el fortalecimiento del poder y capacidad espacial

AÑO	EVENTO
2003	Organización de la IV Conferencia Espacial de las Américas
2005 a 2006	Integración al grupo de trabajo del proyecto Libertad 1 de la Universidad Sergio Arboleda
2006	Miembro fundador de la Comisión Colombiana del Espacio
2007	Creación del Comité de Asuntos Espaciales
2013	Emisión del Plan Estratégico Institucional PEI 2011-2030 con enfoque espacial
2013	Creación de la oficina de Asuntos Espaciales
2013	Emisión del Manual de Doctrina Básica Aérea y Espacial, cuarta edición
2018	Emisión de la Política Espacial
2018	Lanzamiento del FACSAT-1, primer hito del Programa FACSAT
2018	Nombramiento de la Fuerza Aeroespacial Colombiana como Entidad de Registro en Colombia de los Objetos Lanzados al Espacio ante el COPUOS de las Naciones Unidas
2019	Actualización de la misión y visión institucional con un enfoque espacial
2023	Fuerza Aérea Colombiana cambia de denominación a Fuerza Aeroespacial Colombiana

Fuente: Adaptado de Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2019, p. 37).

En coherencia con estos antecedentes, la FAC conformó en el año 2021 la Jefatura de Operaciones Espaciales, con el fin de ejercer el contrapoder espacial mediante la explotación de los activos espaciales. Por otra parte, la FAC como secretaria ejecutiva de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), contribuye la responsabilidad de orientar y articular el programa y una política espacial institucional, así como adelantando diferentes iniciativas como el programa FACSAT, que buscan generar un nuevo sector productivo en el país (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p. 45).

El **Programa FACSAT** es un esfuerzo desde la Dirección de Ciencia y Tecnología de la Jefatura de Educación Aeronáutica y Espacial, por desarrollar capacidades autónomas en las tecnológicas espaciales, así como competencias humanas a través de actividades de capacitación, educación y programas de I+D, y la utilización de la estrategia Newspace que ofrece ciclos de implementación rápidos y de bajo costo en la gestión de proyectos espaciales (Pelton, Potter, & Stott, 2018).

El programa satelital FACSAT emerge como un catalizador esencial para la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) alineado con sus objetivos estratégicos. Al garantizar la integridad territorial, FACSAT proporciona una vigilancia continua y precisa que fortalece la capacidad de la FAC para monitorear y salvaguardar las fronteras nacionales. Además, al ejercer soberanía tanto en el espacio aéreo como en el espacio exterior, Colombia se posiciona como un actor clave en el ámbito internacional, reforzando su autonomía y presencia en el escenario mundial (Zuluaga C. et al, 2022).

Entre los objetivos que persigue el programa están el desarrollar una capacidad de fabricación satelital local, el aumentar la conciencia nacional sobre el desarrollo espacial y el fortalecer la cooperación internacional relacionada con el desarrollo espacial, (Corredor & Benavidez, 2019, p. 11) así:

1. **Desarrollar una capacidad de fabricación satelital local:** Este objetivo busca posicionar a Colombia como uno de los países que le apuesta desde el fomento de su industria nacional al sector espacial, inicialmente en la fabricación de pequeños satélites, con el fin de ayudar en el sector económico y social a los múltiples desafíos que enfrentan. Este objetivo permite la acción integrada e interinstitucional de varios actores privados y públicos tales como: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), SENA (Servicio Nacional para Aprendizajes), Universidad del Valle, Universidad Sergio Arboleda, Universidad Autónoma de Occidente (UAO) y Universidad Industrial de Santander (UIS) en función de la activación de la dinámica y el ecosistema espacial.
2. **Aumentar la conciencia nacional sobre el desarrollo espacial:** Con este objetivo se busca aumentar el conocimiento y comprensión, principalmente a nivel político, para la generación de estrategia nacional con relación al sector espacial y su crecimiento. Se busca integrar a las agencias militares y civiles con el fin de realizar un trabajo colaborativo y coordinado para aprovechar los recursos disponibles (humanos, infraestructura, económicos).
3. **Fortalecer la cooperación internacional relacionada con el desarrollo espacial:** Este objetivo se centra en fomentar la cooperación a nivel internacional con el fin de disminuir las brechas existentes en materia tecnológica, de soporte técnico, conocimientos e infraestructura, aprovechando las lecciones aprendidas (Minciencias, 2022). Un ejemplo claro es el programa de cooperación desarrollado por las Naciones Unidas denominado Copernicus que busca el acceso a la tecnología satelital y la transferencia del conocimiento.



Desde una perspectiva operativa, el programa espacial FACSAT está compuesto por tres diferentes misiones de observación terrestre, además de la generación de productos de naturaleza dual (seguridad y defensa y otros fines del Estado). Las dos primeras misiones o proyectos espaciales, FACSAT-1 y FACSAT-2, se configuran como sistemas individuales (A), con servicios aeroespaciales proporcionados por un solo agente en órbita y una única carga útil disponible. Por otro lado, el tercer proyecto espacial, FACSAT-3, se configura como un sistema multiagente (B), con más de un satélite en órbita, que pueden ser homogéneos o heterogéneos en red y equipados con diferentes cargas útiles, como equipos multi o hiperespectrales o equipos SAR (Radar de Apertura Sintética) (Rodríguez-Piranteque G. W., Sofrony Esmeral, Cortés García, & Rueda, 2020, p. 157). Por lo tanto, FACSAT se divide en dos tipos de misiones: sistemas individuales y sistemas multiagentes, cada uno con sus características específicas y objetivos en la prestación de servicios de observación terrestre.

1.7.1 Misión Espacial FACSAT-1

En el 2012 iniciaron las primeras reuniones con relación a la fase de análisis de la misión del primer proyecto satelital liderado por la FAC, con el fin de identificar las características técnicas y operativas del satélite. La primera iniciativa se orientó a la adquisición de un CubeSat 3U, que usaría un bus de nave espacial de imágenes en miniatura (MISC) de Pumpkin Space Systems y sería integrado localmente por “Sequoia Space”, fundada por los mismos investigadores de la Universidad Sergio Arboleda que estuvieron involucrados en el proyecto “Libertad-1”. Este satélite ofrecía la capacidad de obtener imágenes multiespectrales de 7.5 m GSD, las cuales se podrían utilizar en la gestión ambiental y el socorro, en casos de desastre (Corredor & Benavidez, 2019, p. 13).

Con la llegada de la FAC a la Secretaria Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Espacio y el Jefe del Estado Mayor de esta fuerza, General Flavio E. Ulloa, anunció que para finales del 2014, se lanzaría el segundo satélite Colombiano que llevaría el nombre de FACSAT-1, el cual tendría la participación de la empresa colombiana “Sequoia Space”, sin embargo, problemas relacionados con la licencia ITAR para exportar el bus satelital, incertidumbre relacionadas con el sensor óptico propuesto, como a su tiempo de desarrollo y la confiabilidad, generaron una reformulación del proyecto (Jiménez Mora, 2016; Corredor & Benavidez, 2019, p. 13).

El 29 de noviembre de 2018, 23:28 hora local de Colombia, se realizó el lanzamiento al espacio y puesta en órbita del FACSAT-1, del primer nano satélite de la Fuerza Aérea Colombiana en coordinación con el CITAE, con la misión de obtener imágenes de la tierra desde el espacio, controlado desde la estación terrena ubicado en la EMAVI, en Cali (Valle del Cauca). El lanzamiento del nano satélite se efectuó desde el Centro Espacial Satish Dhawan SDSC, ubicado en Sriharikota, India, a bordo del cohete PSLV-C43 de la Indian Space Research Organization ISRO (nombre y siglas en inglés) (Infoespacial, 2018); en su camino al espacio estuvo acompañado de un satélite, un micro satélite y 28 nanosatélites más (Fuerza Aérea Colombiana, 2018; Corredor & Benavidez, 2019). A través de la materialización de este lanzamiento se plasmó la intención de la FAC de adelantar la explotación del espacio ultraterrestre para garantizar no solo el desarrollo sostenible del país, sino para contribuir en la Defensa y Seguridad de la Nación (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p. 45).

De acuerdo con Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2019), el FACSAT-1, es un Satélite tipo CubeSat de tres unidades (2.4 kilogramos) y cámara óptica multiespectral para Observación de la Tierra a 504 kilómetros sobre la superficie terrestre, ofreciendo imágenes de 30 m/pixel, en el espectro visible RGB, con comunicaciones en la banda UHF (<MBPS). El FACSAT-1 fue desarrollado para Colombia por la compañía danesa GOMspace (con la plataforma GOMX-3 para una vida útil de 5 años). Se visualizó que la participación en Colombia desde el CITAE de la FAC, se continuara con los futuros proyectos satelitales en el diseño de la misión, la construcción de los satélites, la ingeniería de sistemas, el desarrollo y/o integración de carga útil y fabricación de partes (Corredor & Benavidez, 2019).

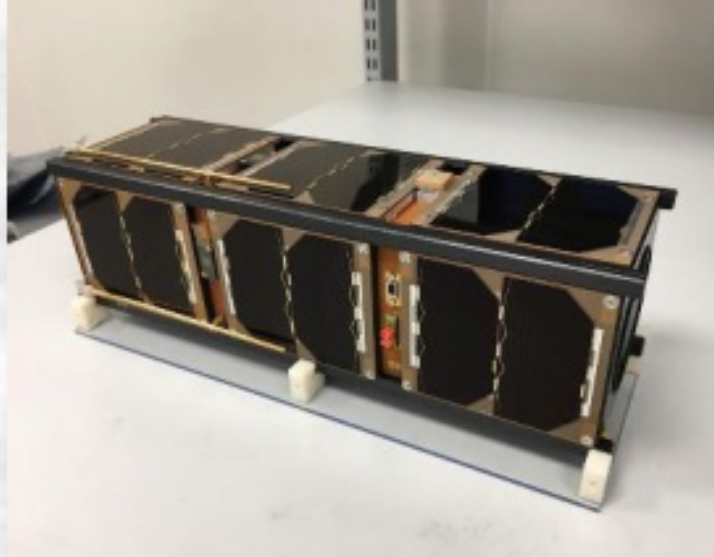
El satélite FACSAT-1, desarrollado como parte de los esfuerzos tecnológicos y de innovación aeroespacial de Colombia, es un CubeSat 3U, que se destaca por ser un satélite, con un peso de 2.4 kg, equipado con un sistema de orientación de 3 ejes activos, lo que le permite mantener una estabilidad y precisión excepcionales en el espacio. Su configuración técnica incluye una resolución espectral en RGB, una resolución radiométrica de 256 DN y una resolución espacial que varía entre 20 y 25 metros por pixel.

La **Tabla 14** proporciona un resumen detallado de las especificaciones técnicas del FACSAT-1, destacando los elementos que permiten su operación efectiva y su contribución al desarrollo espacial del país. A continuación, se presenta una descripción completa de



estas características, basadas en la información suministrada por el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE, 2018).

Tabla 14. Características técnicas Satélite FACSAT-1

IMAGEN	CARACTERÍSTICA	VALOR
	Masa	2.4 Kg
	CubeSat	3U
	Sistema de Orientación	3 ejes activos
	Resolución Espectral	RGB
	Resolución Radiométrica	256 DN
	Resolución Espacial	20-25 m/pixel
	Resolución Temporal	4 días (landmark mode)
	Comunicación	UHF Band <1 MBPS
	Apunte de precisión	1 deg
	Orbita	SSO
	Altitud	504 Km
	Tiempo de vida	≥ 3 años

Fuente: CITAE (2018).

En primera instancia, la misión espacial FACSAT-1 tiene como propósito realizar observación de la superficie terrestre, con el fin adquirir capacidades en torno al conocimiento, a través de la interacción de los profesionales colombianos con las tecnologías satelitales. Debido a esto, se reduce la brecha de conocimiento en el control del satélite, en la operación de la estación satelital terrena, y el procesamiento de la información adquirida. En segunda instancia, adquirir una capacidad operacional, a través de la puesta en órbita del nano satélite (Rincón-Urbina, Cárdenas-García, & Pirazán-Villanueva, 2022), (Rincón, Martínez, & Cárdenas, The CyberSpace Edition, 2020).

De acuerdo con Cortés García, Acuña Mateus, & Pachón Pinilla (2019, p. 16) el FACSAT-1 compuesto por subsistemas fundamentales para el funcionamiento y operación del FACSAT-1, los cuales se listan en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Subsistemas definidos para el bus satelital del nanosatélite FACSAT-1

SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN
WDE (Wheel Drive Electronics)	Mover las ruedas inerciales del satélite para controlar su orientación y movimiento.
GPS (Global Positioning System)	Posición en tiempo real del satélite, permitiendo un seguimiento preciso de su ubicación.
AX100	Facilita la comunicación entre la estación terrena y el satélite a través de una banda UHF (Ultra High Frequency).
NANOCAM (Cámara)	Carga útil del satélite, consistente en una cámara capaz de capturar imágenes con una resolución de 30 metros por píxel.
OBC (On-Board Computer)	Conocido como nanomind A3200, es el cerebro del satélite y ejecuta todos los procesos y tareas necesarios para su operación.
ADCS (Attitude Determination Control System)	Controla la orientación del satélite y supervisa el movimiento de ruedas inerciales y los magnetómetros para mantener su posición y trayectoria en el espacio.

Fuente: Adaptado de Cortés García, Acuña Mateus, & Pachón Pinilla (2019, p. 16).

En términos generales, el uso y la aplicación científico-tecnológica del FACSAT-1 han sido fundamentales para el desarrollo de capacidades espaciales en Colombia. Estas áreas incluyen la mecánica orbital y misiones espaciales, la ingeniería de sistemas, el sensoramiento remoto, el uso de software satelital, la investigación y desarrollo de capacidades, y la colaboración entre el Estado, la universidad y la empresa (ver **Tabla 16**) (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p. 137).

Tabla 16. Desarrollo de Capacidades Espaciales en Colombia con el FACSAT-1

ÁREA DE DESARROLLO	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES PRÁCTICAS
Mecánica orbital y misiones espaciales	Apropiación de conocimientos y habilidades en mecánica orbital y la ejecución de misiones espaciales.	Planificación y ejecución de nuevas misiones satelitales, optimización de trayectorias orbitales.
Ingeniería de sistemas	Avances en la ingeniería de sistemas para operar un satélite en órbita, incluyendo la operación de subsistemas técnicos como GPS, ADCS, RWA y WDE.	Mejora en la operación y mantenimiento de satélites, desarrollo de tecnología local para subsistemas espaciales.



ÁREA DE DESARROLLO	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES PRÁCTICAS
Sensoramiento remoto	Provisión de imágenes con una resolución de 30 metros por píxel para la vigilancia y monitoreo del territorio nacional, aplicable en desarrollo urbano y vigilancia de recursos naturales.	Monitoreo ambiental, gestión de desastres naturales, planificación urbana y rural, control de actividades ilegales.
Uso de software satelital	Promoción del uso de software para el procesamiento de datos y la detección de objetos en imágenes, incluyendo la detección de minería a cielo abierto empleando Deep Learning.	Análisis avanzado de imágenes satelitales, identificación de cambios en el uso del suelo, monitoreo de infraestructuras.
Investigación y desarrollo de capacidades	Enfoque en la investigación y desarrollo en áreas como comunicaciones, estaciones terrenas, diseño de órbita y análisis de datos, en colaboración con la academia, entidades gubernamentales y empresas privadas.	Creación de programas de formación en tecnología espacial, desarrollo de nuevos proyectos de investigación aplicada.
Colaboración entre Estado, universidad y empresa	Fomento de la colaboración entre el Estado, instituciones académicas y sector empresarial, consolidando redes de conocimiento y difusión en el campo espacial.	Implementación de proyectos conjuntos, intercambio de conocimiento, fortalecimiento de la industria espacial nacional.

El FACSAT-1 impactó positivamente en el desarrollo de capacidades espaciales en Colombia, abarcando áreas que van desde la mecánica orbital hasta la aplicación de datos satelitales en beneficio de diversas áreas, como la vigilancia del territorio nacional.

El proyecto impulsó la investigación y el desarrollo en colaboración con múltiples actores, fortaleciendo la sinergia entre sectores. También consolidó una doctrina en operaciones espaciales, creando una base sólida para el crecimiento y la innovación en el sector espacial colombiano.

1.7.2 Misión Espacial FACSAT-2 “SAT Chiribiquete”

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) firma un segundo convenio de colaboración con GOMspace, una alianza que permite el codiseño y desarrollo la misión FACSAT-2, satélite de seis unidades para la observación de la Tierra. El primer contrato firmado en octubre del 2020 tuvo un valor de 770.000 USD, contó con la participación de Codaltec para la administración de las Actividades de Ciencia y Tecnología (Cisco, 2020). Para el proyecto FACSAT-2 se cuenta con recursos de la Fuerza, MINCIENCIAS en el marco del convenio

015 del 2014 con la FAC, invitaciones 2019 y 2020; y de Ecopetrol como patrocinador de la segunda carga útil (GOMspace, 2020).

A través del programa de transferencia de conocimiento y tecnología, Colombia adquiere experiencia para el diseño, ensamble, integración, pruebas en tierra y puesta en órbita, y la operación del activo espacial. La idea central es establecer una continuidad en el desarrollo de nuevos satélites, con capacidades operativas adaptadas a las necesidades específicas del país, con una frecuencia de lanzamiento de tres años. La FAC juega un papel fundamental al integrar a empresas públicas y privadas, nacionales y extranjeras, junto con la academia, para gestionar el programa espacial (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p. 137). La misión se divide en dos fases esenciales para el desarrollo y la expansión de las capacidades espaciales de Colombia (ver **Tabla 17**) (Corredor & Benavidez, 2019, p. 16).

Tabla 17. Fases de la Misión Espacial FACSAT-2

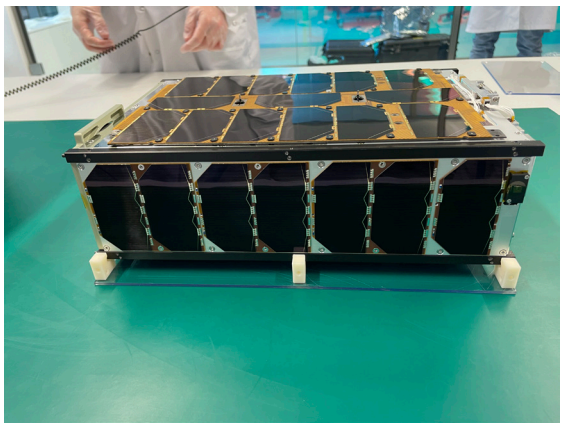
FASE	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
I. Ingeniería de sistemas, operaciones espaciales e infraestructura	Bases de la misión, requisitos técnicos específicos: necesidades y limitaciones. Incluye decisiones sobre tipo de misión, órbita, carga útil y compatibilidad con la infraestructura en tierra.	Toma de decisiones: determinar tipo de misión, órbita, carga útil, rendimiento, definición y compatibilidad con la infraestructura en tierra, gestión de lanzamiento, entre otros.
II. Adquisición de capacidad para el ciclo de vida completo de una misión satelital	Gestión integral del ciclo de vida de la misión satelital: incluye gestión de lanzamiento, implementación de capacidades en comunicaciones del segmento terrestre, construcción de activos espaciales, adopción de desarrollos disponibles y mejora de diseños.	Fomenta la colaboración con la industria local, especialmente en lo que concierne a las cargas útiles y las aplicaciones derivadas del espacio. Promueve el crecimiento de la industria local en la explotación de los datos y generación de productos



Estas dos fases son esenciales para el desarrollo y la expansión de las capacidades espaciales de Colombia. Permiten la operación exitosa de satélites y contribuyen al fortalecimiento de la industria aeroespacial en el país (Corredor & Benavidez, 2019, p. 16). La colaboración entre el Estado, la academia y el sector privado, asegura un enfoque integral y sostenible en la gestión del programa espacial, que promueve el crecimiento tecnológico y económico de Colombia en el ámbito espacial.

En la **Tabla 18**, se presentan las características técnicas del satélite FACSAT-2.

Tabla 18. Características técnicas del Satélite FACSAT-2

IMAGEN	CARACTERÍSTICA	VALOR
	Masa	7,49 Kg
	CubeSat	6U
	Sistema de Orientación	3 ejes activos
	Resolución Espectral Cámara	RGB + NIR+PAN 400 nm -900 nm
	Resolución Radiométrica	12 Bit
	Resolución Espacial	4,75 m/píxel
	Resolución radiométrica Espectrómetro	1000-1700nm
	Comunicación	Banda S / Banda X
	Apunte de precisión	0.7 deg
	Orbita	SSO
	Altitud	500 Km
	Tiempo de vida en órbita	≥ 5 años

El objetivo principal de la misión espacial FACSAT-2 desde el punto de vista operativo es prestar servicios de observación terrestre con mayores capacidades al FACSAT-1, empleando un bus tipo CubeSat 6U, que permita la transferencia y apropiación de conocimiento para la integración de los subsistemas, pruebas en laboratorios y operación autónoma. A través de las etapas: la estructuración del diseño de la misión (AIT ensamble, integración y pruebas Tierra), el Servicio de lanzamiento, y la calibración y puesta a punto en órbita (Rodríguez-Pirateque et al., 2020, p. 157; Rincón-Urbina S. R., et al., 2023, p 71).

1.7.3 Comparación entre el FACSAT-1 y el FACSAT-2

La independencia adquirida a través de este programa no solo se refleja en la reducción de la dependencia de tecnologías extranjeras, sino también en la capacidad de la FAC para tomar decisiones estratégicas de manera autónoma. La implementación de capacidades permanentes y sostenibles a través de FACSAT garantiza una presencia continua en el espacio, permitiendo una planificación a largo plazo y el mantenimiento de una ventaja competitiva en el ámbito aeroespacial.

Este programa posiciona a la FAC como líder y referente regional en materia aeroespacial, estableciendo un estándar para otros países de la región. Al avanzar en estas capacidades, Colombia se proyecta como un actor influyente en la exploración espacial, la investigación científica y la innovación tecnológica, contribuyendo al desarrollo económico y social del país y consolidando su posición como una potencia emergente en el ámbito espacial a nivel global.

El programa de satélites FACSAT evoluciona tecnológicamente entre las misiones FACSAT-1 y FACSAT-2. Los CubeSats permiten acortar significativamente los tiempos de desarrollo y permitir la exploración de nuevas arquitecturas satelitales conforme a los requisitos de las partes interesadas. La diferencia clave entre FACSAT-1 y FACSAT-2 radica en aspectos como tamaño, capacidad, tecnología y objetivos de misión (ver **Tabla 19**).

Tabla 19. Comparación entre el FACSAT-1 y el FACSAT-2

NOMBRE	FACSAT-1	FACSAT-2
Tipo	Nano	Nano
Unidades	3	6
Dimensiones (cm)	10x10x30	20x10x30
Masa (Kg)	2.4	7.49
Diseño	GOMSpace	GOMSpace
Adaptación	GOMSpace / FAC	GOMSpace / FAC
Operador	FAC	FAC
Lanzamiento	28/11/2018	15/04/2023
Orbitando	No (4 años)	Sí



NOMBRE	FACSAT-1	FACSAT-2
Payloads	EO - RGB	EO - Multiespectral y Espectrómetro
Modelo	NANOCAM CIU	Multiscape 100 CIS y Argus 2000
Resolución Espectral (Bandas)	3 (R, G, B)	7 (R, G, B, NIR)
Resolución espacial	30 m / píxel cámara multiespectral	4.75 m / píxel 1. Cámara multiespectral 2. Espectrómetro ARGUS 2000
Órbita	SSO Baja terrestre LEO 100-1.500Km	SSO
Altitud SSO	504 Km	500 Km $\pm$ 25
Tiempo de vida orbital estimado	≥ 3 años	≥ 5 años
Misión		SAT-Chiribiquete: Información óptica y radiométrica
Aplicaciones	Medio: Agricultura / uso del suelo	Óptimo: Agricultura / uso del suelo, Clima Medio: Energía y Desastres

* Alianza FAC / Universidades / Empresas. A: Scientific Payloads. Fuente: Adaptado de Rincón-Urbina S. R. et al. (2023, p. 82).

Además de las mejoras notables en tecnología y tamaño, por la selección de sensores de media resolución para la adquisición de imágenes y datos radiométricos, aprovechando el espacio adicional disponible de Cubesat de 6U, el FACSAT-2 se destaca por la mejora del desempeño, definido por sistemas de posicionamiento, comunicaciones, procesamiento, demostrados en: la alta velocidad de integración del sistema y optimización de las capacidades de descarga de datos; aumento de la velocidad de bits de descarga, por las mejoras en el rendimiento de la línea de escaneo y la resolución multiespectral; aumento de la velocidad de bits en 8000 veces la banda X en comparación con el uso de UHF, de cuatro pases de diez minutos sobre el segmento terrestre para descargar una imagen de 50 KB, a 4 GB de datos por pase (Rincón-Urbina S. R. et al., 2023, p. 82). Es de anotar, que los desarrollados tecnológicos de la mayoría de los componentes utilizados en estos satélites, son manufactura de GOMspace, en un nivel de preparación (TLR 8-9).

Los desafíos tecnológicos de FACSAT-2 están estrechamente relacionados con la incorporación de un sensor adicional a la cámara Multispectral, que es un espectrómetro. Esta adición brinda oportunidades significativas en términos de investigación. FACSAT-2 utiliza un sensor electro óptico de barrido lateral y también cuenta con la capacidad de tomar imágenes instantáneas, además de integrar la información del espectrómetro. Dentro de los desarrollos autónomos, se destaca el diseño de una tarjeta electrónica PCB que permitió la integración entre el espectrómetro y el bus satelital, integración del software de cifrado de datos, el desarrollo del software de control de misión del FACSAT denominado “Kayros” y la implementación de la estación de tierra con la integración de una antena banda S/X.

Una vez en órbita, el satélite lleva a cabo una campaña de calibración tanto de los subsistemas como de las cargas útiles. Este último, proceso tiene como objetivo transformar los datos crudos en imágenes de Nivel L 1, lo que involucra la calibración radiométrica y geométrica, la ortorrectificación y la georreferenciación. Este enfoque técnico demuestra la sofisticación de FACSAT-2 y su capacidad para maximizar la utilidad de los datos recopilados en el espacio.

La operación de la misión de FACSAT-2 permite monitoreo terrestre al proporcionar una cobertura sistemática para la clasificación y cartografía de la cobertura terrestre. Además, permite una evaluación de parámetros biológicos y químicos, así como un monitoreo de la atmósfera. El sensor Argus juega un papel fundamental en la recopilación de datos atmosféricos y monitoreo de CO₂, lo que contribuirá significativamente a nuestra comprensión del entorno desde una perspectiva tanto política como científica.

Los datos geológicos recopilados incluirán información sobre el Índice de Área Foliar (LAI), el Contenido de Clorofila de las Hojas (LCC), diversos tipos de vegetación, estimaciones de biomasa y rendimientos de cultivos, entre otros usos y aplicaciones (Rincón-Urbina S. R. et al., 2023, p. 82). Estos datos serán invaluable para una variedad de sectores y ofrecerán una base sólida para la toma de decisiones de gestión de los territorios, y científicas relacionadas con nuestro medio ambiente y recursos naturales.



1.7.4 Misión Espacial FACSAT-3

La tercera fase del programa, busca desarrollar una constelación de satélites pequeños (sistema satelital multiagente), con diversas cargas útiles, y que podrán ser integrados en Colombia en los laboratorios de ensamble, integración y pruebas. La FAC liderará los procesos de análisis de factibilidad, gestión y gerencia de proyectos, diseño de misión, registro satelital, asignación de frecuencia, ingeniería de sistemas, pruebas de validación, lanzamiento y operaciones, y contará con aliados nacionales y extranjeros que garanticen la apropiación de capacidades en Colombia, aliados de la académica, industria y gobierno (Minciencias, 2022).

El objetivo operacional de la misión espacial FACSAT-3 es prestar servicios de observación terrestre, así como entrega de datos que contribuyan de Space Situational Awareness (SSA), toma de imágenes para cubrimiento de área mediante configuración tipo constelación con sensores ópticos y/o Radares de Apertura Sintética (SAR), y la toma de imágenes tipo multi-objetivo de alta precisión de apuntamiento, con sistemas híbridos de equipos multi o hiperespectrales y SAR (Ej. Misión Tándem-ESA), para el trabajo de interferometría (In-SAR o D-SAR) y modelos de elevación en 3D con control de formación y cambios de líder (Rodríguez-Pirateque et al., 2020, p. 157).

1.8. FILOSOFÍA EMERGENTE Y PRIVADA DE LA INDUSTRIA ESPACIAL “NEWSPACE”

El sector comercial espacial cuenta con la participación de varias empresas destacadas en el desarrollo de tecnologías relacionadas con el lanzamiento, aterrizaje, transferencia y otros elementos críticos para las misiones espaciales. Estas compañías son esenciales para el avance de programas espaciales tanto comerciales como gubernamentales, incluyendo el desarrollo de sistemas de transporte y soporte para misiones humanas y robóticas en la Luna y más allá. El término “Newspace” se utiliza para describir esta emergente y revolucionaria filosofía y práctica en la industria espacial, caracterizada por la participación de empresas privadas en el desarrollo, lanzamiento y operación de misiones espaciales, en contraste con el enfoque tradicional, dominado por agencias gubernamentales (ver **Tabla 20**); Martí, 2020; Pelton, Potter, & Stott, 2018).

Tabla 20. Empresas y contribuciones en programas espaciales

EMPRESA	CONTRIBUCIÓN	RELEVANCIA
Aerojet Rocketdyne	Proporciona sistemas de propulsión para vehículos de lanzamiento y exploración espacial.	Crítica en el desarrollo de motores que impulsan misiones espaciales clave, incluyendo el SLS de NASA.
Blue Origin	Desarrolla el “National Team” para el módulo de aterrizaje lunar, trabajando en la misión Artemis para volver a llevar humanos a la Luna.	Pionero en la creación de tecnología para la exploración lunar y la futura colonización espacial.
Boeing	Parte del “National Team” con Blue Origin, proporcionando sistemas de vuelo y tecnologías de soporte.	Líder en la integración de tecnologías aeroespaciales avanzadas, vital para misiones tripuladas y no tripuladas.
Dynetics	Desarrolla el “Dynetics Human Landing System” (DHLS) y es proveedor de sistemas de propulsión para otras misiones lunares.	Innovador en el diseño de sistemas de aterrizaje humano, crucial para las misiones Artemis de NASA.
Lockheed Martin	Colabora en el “National Team” y desarrolla tecnologías para sistemas de aterrizaje y soporte de misiones espaciales.	Fundamental en el desarrollo de naves espaciales y tecnologías de soporte crítico para misiones lunares y marcianas.
Masten Space Systems	Enfocado en sistemas de aterrizaje y tecnologías de transferencia en el espacio.	Importante en la tecnología de aterrizaje lunar y la transferencia de tecnología espacial.
Northrop Grumman	Parte del “National Team”, desarrolla componentes críticos para el módulo de aterrizaje y soporte en órbita.	Esencial en la construcción de módulos de aterrizaje y sistemas de soporte en órbita, contribuyendo al cumplimiento de las misiones Artemis.
OrbitBeyond	Desarrolla sistemas para misiones lunares y otros cuerpos celestes.	Proveedor de sistemas innovadores para la exploración de la Luna y otros cuerpos celestes.
Sierra Nevada Corporation	Participa en el desarrollo de vehículos de lanzamiento y sistemas de soporte para misiones espaciales.	Clave en la creación de vehículos de lanzamiento y soporte, incluyendo el Dream Chaser para transporte de carga y tripulación.
SpaceX	Desarrolla el Starship para misiones de larga duración, incluyendo la entrega de carga y tripulación a la Luna como parte del programa Artemis.	Pionero en tecnologías reutilizables y misiones de larga duración, crucial para la exploración interplanetaria y la expansión humana en el espacio.
SSL	Contribuye con tecnologías de comunicación y satélites para misiones en órbita y más allá.	Vital en el desarrollo de satélites de comunicación y observación, esenciales para las misiones científicas y comerciales.



EMPRESA	CONTRIBUCIÓN	RELEVANCIA
Sidus Space	Diseño, construyó y probó gabinetes eléctricos y desconexiones rápidas umbilicales para el lanzador móvil del SLS. Fabricó arneses de cables y hardware para Orion.	Proveedor integral de componentes críticos para la SLS y Orion, participando desde las etapas iniciales del programa Artemis y apoyando con hardware esencial.

Fuente: Adaptado de Martí (2020); Pelton, Potter, & Stott (2018).

El movimiento Newspace está redefiniendo la industria espacial al introducir un enfoque innovador y privado que impulsa una transformación significativa en cómo se exploran y explotan los recursos espaciales. Esta transformación se manifiesta en varias dimensiones clave que abarcan desde la adopción de tecnologías disruptivas y la democratización del acceso al espacio, hasta la evolución de modelos de negocio y financiamiento. La colaboración entre el sector público y privado y la diversificación de aplicaciones espaciales dan lugar a nuevas oportunidades económicas y científicas, mientras que los desafíos asociados, como regulación, sostenibilidad y equidad global, requieren atención cuidadosa para asegurar un desarrollo equilibrado y sostenible (ver **Tabla 21**).

Tabla 21. Características, impacto y retos del movimiento Newspace

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Características del Newspace	Innovación y Tecnología	Las empresas NEWSPACE se enfocan en ciclos de desarrollo rápidos y en la adopción de tecnologías disruptivas, (impresión 3D, IA y sistemas autónomos), para reducir costos y mejorar la eficiencia, innovando más rápidamente que las agencias gubernamentales.
	Acceso Comercial al Espacio	Empresas como SpaceX, Blue Origin y Rocket Lab desarrollan sus propios vehículos de lanzamiento, reduciendo significativamente los costos y aumentando la frecuencia de los lanzamientos. Además, hay una proliferación de pequeños satélites y constelaciones satelitales comerciales para servicios de comunicación, observación terrestre y navegación.
Características del Newspace	Modelos de Negocio y Financiamiento	El financiamiento proviene en gran parte de capital de riesgo, inversiones privadas y fondos de capital privado, lo que contrasta con el financiamiento gubernamental tradicional. Además, se benefician de una economía de escala mediante la producción en masa y la reutilización de componentes, como los cohetes reutilizables de SpaceX.

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Características del Newspace	Colaboración Público-Privada	Contratos gubernamentales y asociaciones para misiones específicas con agencias espaciales como la NASA y la ESA. Además, existe un intercambio de conocimientos y tecnología entre el sector público y privado para impulsar la innovación.
	Diversificación de Aplicaciones Espaciales	Turismo espacial suborbital y eventualmente orbital, con empresas como Blue Origin y Virgin Galactic. Minería espacial, en asteroides y la Luna para la extracción de recursos. Colonización espacial a largo plazo, con iniciativas para establecer colonias humanas en Marte y la Luna lideradas por SpaceX.
Impacto del Movimiento Newspace	Reducción de Costos	Mejora la accesibilidad del espacio para empresas, instituciones académicas y gobiernos pequeños. Fomenta la competitividad e impulsa la innovación y la eficiencia en la industria.
Impacto del Movimiento Newspace	Aceleración del Desarrollo Espacial	La frecuencia de misiones y experimentos en el espacio aumenta, potenciando el avance científico y tecnológico. La diversificación de participantes, incluyendo empresas, universidades y startups, amplía la exploración y explotación espacial.
Impacto del Movimiento Newspace	Nuevas Oportunidades Económicas	Nuevos mercados y negocios en áreas como la comunicación satelital, la observación terrestre y el turismo espacial. Este entorno dinámico genera nuevas oportunidades económicas y estimula el desarrollo en regiones con participación en la industria espacial.
Retos y Consideraciones	Regulación y Seguridad	Es necesario actualizar y desarrollar marcos regulatorios que aborden la seguridad, la sostenibilidad y la legalidad de las actividades Newspace, así como gestionar los riesgos asociados con la proliferación de satélites y la reutilización de cohetes.
	Sostenibilidad y Desechos Espaciales	Es crucial implementar estrategias para minimizar los desechos espaciales y garantizar operaciones sostenibles a largo plazo, además de evaluar y mitigar el impacto medioambiental de las actividades espaciales.
	Equidad y Acceso	Se debe asegurar que los beneficios del Newspace sean accesibles a nivel global y no se concentren solo en ciertas regiones o países, abordando también las posibles desigualdades en el acceso a tecnologías y oportunidades espaciales.

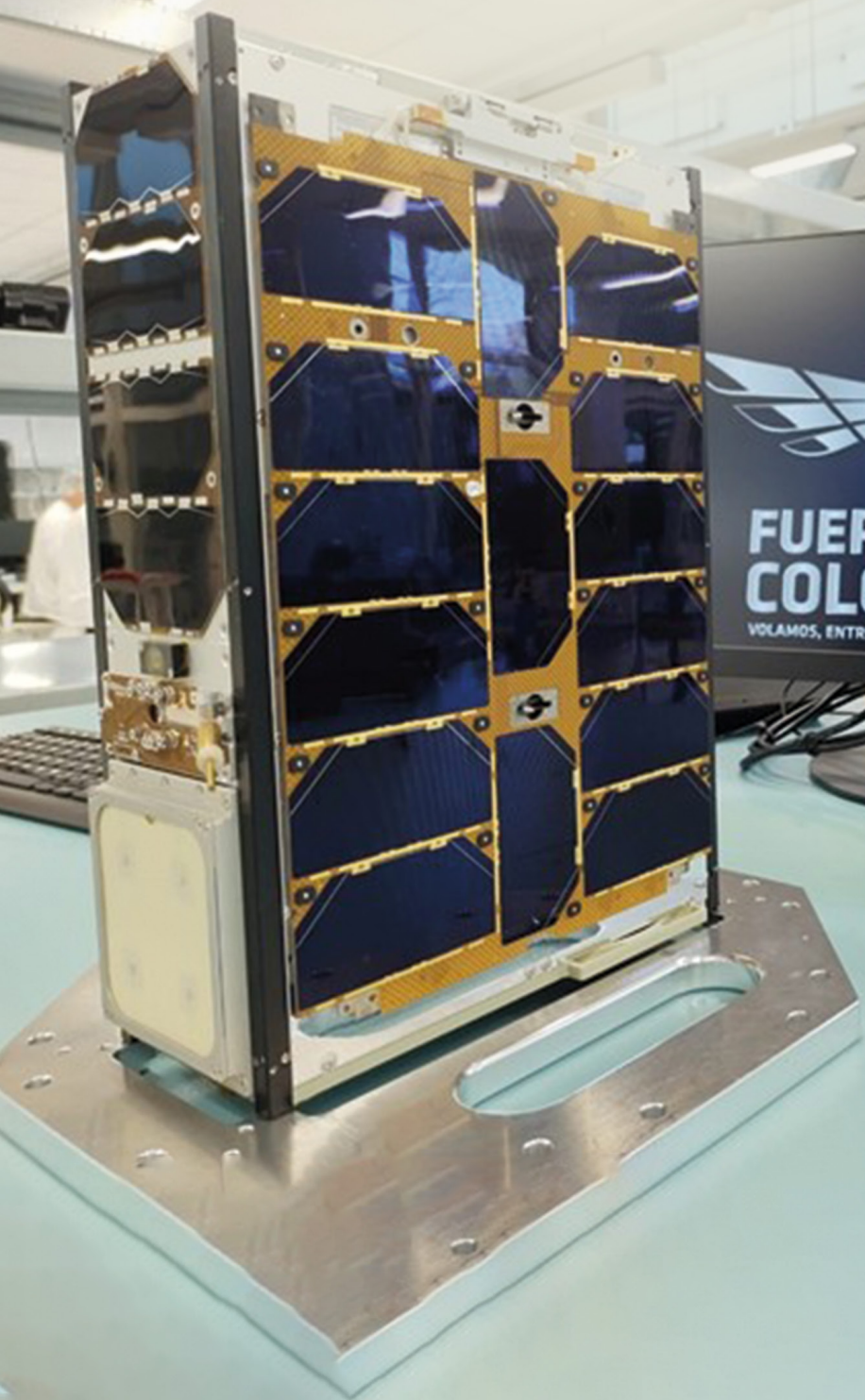
Fuente: Adaptado de Martí (2020); Pelton, Potter, & Stott (2018).

El movimiento Newspace está transformando profundamente la industria espacial al introducir un enfoque privado e innovador que redefine la forma en que se explora y



explora el espacio. Las características clave del Newspace incluyen la adopción rápida de tecnologías disruptivas como la impresión 3D, la inteligencia artificial y los sistemas autónomos, que permiten a las empresas innovar con mayor agilidad y reducir costos significativamente. El acceso comercial al espacio se democratiza gracias al desarrollo de vehículos de lanzamiento privados y la proliferación de pequeños satélites, lo que aumenta la frecuencia de los lanzamientos y diversificado las aplicaciones espaciales. Los modelos de negocio y financiamiento basados en capital de riesgo y fondos privados han facilitado una economía de escala y una mayor reutilización de componentes, como los cohetes reutilizables de SpaceX. Además, la colaboración público-privada, manifestada en asociaciones con agencias espaciales como la NASA y la ESA, impulsa la innovación y la transferencia de tecnología.

2. ANÁLISIS LEGAL Y NORMATIVO





Las iniciativas políticas en el campo aeroespacial en Colombia establecen un marco de gobernanza que articula actores e instituciones a través de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE). Se reconoce el potencial innovador, de emprendimiento y conocimiento tecnológico, y a la vez implementa una estrategia para cerrar las brechas de capacidades con:

- 1) Estrategias para el desarrollo del sector, al identificar las capacidades científicas y tecnológicas del país;
- 2) Creación de una agenda de cooperación internacional, al conocer los mercados de bienes y servicios satelitales;
- 3) Adopción de un marco normativo, que facilite la promoción instructiva en temas espaciales.

Sin embargo, la política espacial debe incluir al sector privado en la construcción del programa con proyectos nacionales, para la financiación, viabilidad y sostenibilidad, favoreciendo también a las entidades públicas que utilizan imágenes satelitales (UNCTAD, 2021; Wood & Stober, 2018).

Colombia crea en un contexto de cooperación, proyectos conjuntos en el impulso y aprovechamiento de capacidades, transferencia tecnológica, gestión del conocimiento y formulación de políticas, directrices e incentivos.

El Proyecto de Ley 496 del 2020 Cámara / 202 del 2020 Senado ratifica el compromiso de Colombia con el desarrollo espacial y busca favorecer el desarrollo de la industria aeroespacial en el país. De igual manera, en el año 2023 el gobierno nacional de Colombia, lanza la Política Nacional de Reindustrialización para la defensa y la vida, donde se establece la estrategia de alto nivel para aprovechar las capacidades de la industria militar, y así fortalecer el desarrollo tecnológico del país, la transferencia de tecnología a la industria privada, que garantice el desarrollo del mercado del sector aeroespacial, ofertando de servicios y bienes tanto en el comercio interno como la inserción en las cadenas globales de valor (CONPES 4129, 2023).

El estándar técnico (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016) de la ESA contiene las 15 normas con excepciones parciales para CubeSat, incluyendo el programa de pruebas de calificación/aceptación de Authorization/Permit Issued (AITP), Assembly/Integration

& Validation (AIV), etc., efectuadas por el comité de ensayos (TRB). Sin embargo, para complementar el diseño, la funcionalidad y la operatividad del satélite se deben incluir condiciones regulatorias de otras autoridades internacionales que permitan mayor control de interacción con ingeniería externa. Así como la implementación de un sistema de gestión de producto siguiendo la filosofía de Ingeniería de Sistemas.

II. ANÁLISIS LEGAL Y NORMATIVO

2.1. ANTECEDENTES

La Asamblea General de las Naciones Unidas (UNGA) de la Organización de las Naciones Unidas -ONU selecciona grupos para el avance de las investigaciones con recomendaciones que mejoren la cooperación internacional, al mantener actualizadas las preocupaciones emergentes. Esto, con el fin de reducir los riesgos del espacio ultraterrestre en cuanto a malentendidos, desconfianza y errores de cálculo en las actividades. Tal es el caso del Grupo de expertos gubernamentales (GGE) sobre Medidas de Transparencia y Fomento de la Confianza (TCBM) y el inicio de acciones con la resolución 65/68 de 2010 sobre cuestiones de seguridad y desarme en el espacio (Johnson, 2014).

Doyle (2011) expuso la historia de 100 años del derecho espacial a partir de una idea sin forma ni sustancia en 1910 de un artículo de una revista en París. Luego, en 1932 la primera monografía y en 1953 la primera tesis doctoral sobre derecho espacial. Abordando posibles principios, requisitos y prohibiciones contempladas como ley, con el lanzamiento del Sputnik-1 el 4 de octubre de 1957, con la colocación de objetos en el espacio que superaba la atmósfera. Desarrollándose en cuatro (4) fases:

1. **1910 a 1957:** Conceptos básicos de derecho espacial antes del Sputnik.
2. **1957 a 1966:** Aclaración y adopción de leyes básicas aplicables.
3. **Desde finales de la década de 1950:** Expansión de los usos del espacio y las leyes y reglamentos nacionales e internacionales para gestionar dichos usos.
4. Implica la regulación de las actividades humanas más allá de la atmósfera, incluido el eventual desarrollo de leyes para gestionar los asentamientos y sociedades que existen fuera de la Tierra.



Aunque el derecho espacial se considera como el cuerpo acumulativo de leyes, reglamentos, tratados, acuerdos y convenciones nacionales e internacionales creados para permitir, gestionar y regular la defensa comercial, civil, gubernamental y nacional o regional a nivel mundial, regional y nacional. Actividades en el espacio ultraterrestre o relacionadas con él; el juez Vladlen Vereshchetin en el 52 Coloquio de IISL en Corea en 2009, describió la “ley espacial” como voluble, dura y blanda, nacional e internacional, aceptada y debatida”.

En la década de 1950, se requería la gestión de frecuencias de radio y la asignación internacional de frecuencias de radio suficientes para cumplir con los requisitos de comunicaciones, seguimiento y telemetría de las capacidades en astronáutica. La explotación de estos beneficios lleva a una mayor integración de la comunidad global, una mayor interdependencia entre los Estados y una mayor comprensión de la naturaleza de nuestras diferencias culturales y religiosas (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

La Innovación y Competitividad fortalecen el crecimiento de la industria aeroespacial mundial gracias a la inclusión de la I4.0, que proyecta un mercado dinámico de USD \$450.000 millones (FEMIA, 2011). Por lo tanto, el derecho espacial es uno de los derechos que debe estudiarse desde afuera hacia adentro, es decir, de lo internacional a lo nacional (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

2.2 LEGISLACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL

Existen diversas políticas que reflejan el avance de la política espacial a nivel mundial, las cuales crecieron significativamente tras el fin de las restricciones militares de la Guerra Fría (CONPES 3983, 2020). En la **Tabla 22** se presentan los primeros tratados internacionales, así como los documentos recopilados por la OCDE desde 2004 (Advanced Space Operations School, 2020; Süßmann Herrán, 2013; CONPES 3983, 2020; OECD, 2004, 2005, 2008, 2012a, 2013; UNOOSA, Resolución 2777 (XXVI), 1971; UNOOSA, Resolución 3235 (XXIX), 1975; UNOOSA, Resolución 34/68, 1979).

Tabla 22. Documentos internacionales que evidencian el crecimiento espacial

No	DOCUMENTO	FECHA	DESCRIPCIÓN
1.	Tratado Internacional	1968	Rescue and Return Agreement
2.	Tratado Internacional	1972	Liability Convention
3.	Tratado Internacional	1975	Registration Convention
4.	Tratado Internacional	1979	Moon Agreement
5.	Informe OCDE	2004	Space 2030: Exploring the Future of Space Applications
6.	Informe OCDE	2005	Space 2030: Tackling Society's Challengers
7.	Informe OCDE	2008	Space Technologies and Climate Change
8.	Informe OCDE	2012	Handbook on Measuring Space Economy
9.	Informe OCDE	2013a	Space Technologies and Food Security
10.	Informe OCDE	2013b	Space Technologies and Major Threats.
11.	Informe OCDE	2014	Space Foundation
12.	Informe OCDE	2016	Space and innovation

Particularmente, para el proyecto FACSAT-2, se emplean documentos y normas relacionadas con la ingeniería espacial, específicamente sobre la gestión y mitigación de desechos espaciales, requisitos de prueba, y directrices para proyectos espaciales como CubeSats. Cada fila de la **Tabla 23** proporciona información detallada sobre diferentes estándares y manuales que regulan estos aspectos en el contexto de la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Cooperación Europea para la Normalización del Espacio (ECSS).

Tabla 23. Documentos y normas Europeas relacionadas a la misión espacial FACSAT-2

No	ENTIDAD	NORMA	FECHA	DESCRIPCIÓN
1	Agencia Europea Espacial	ESA/ADMIN/IPOL(2014)2	28-03-2014	Norma que establece el estándar de requerimientos técnicos sobre la mitigación de los desechos espaciales, los principios que rigen su implementación y las responsabilidades.
2	Agencia Europea Espacial	ESSB-HB-U-002	19-02-2015	Manual que proporciona directrices sobre los métodos de verificación y la posible implementación de medidas de mitigación en apoyo a los proyectos de la ESA para facilitar el cumplimiento de los desechos espaciales de la ESA.



No	ENTIDAD	NORMA	FECHA	DESCRIPCIÓN
3	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	ECSS-M-ST-10C Rev.1	06-03-2009	Norma ECSS que se limita a describir los elementos clave de la planificación e implementación del proyecto e identificar los requisitos y productos de alto nivel que, en conjunto, proporcionan una planificación del proyecto coherente e integrada en las tres ramas de ECSS.
4	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	ECSS-E-ST-10-03C	1-06-2012	Norma estándar que proporciona requisitos de prueba medioambientales y de rendimiento estándar para un sistema espacial y sus componentes. Adicionalmente, define los requisitos de prueba para productos y sistemas que generalmente son aplicable a todos los proyectos y su respectiva la documentación.
5	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	TEC-SY/129/2013/SPD/RW	26-03-2013	Define los requisitos de garantía de calidad y productos aplicables a ESA Proyectos CubeSat con demostración en órbita como principal objetivo.
6	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	TEC-SY/128/2013/SPD/RW	24-11-2016	Este documento especifica la aplicabilidad de los Estándares de ingeniería espacial de ECSS a los proyectos de nano satélites CubeSat de demostración en órbita desarrollados a través de la ESA del programa de tecnología de apoyo titulada “Predesarrollo de la tecnología CubeSat”
7	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	TEC-SY/128/2013/SPD/RW	24-11-2016	Estándares de ingeniería ECSS para Proyectos de demostración en órbita de CubeSat.
8	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	ECSS-E-ST-10-02C Rev.1 DIR2	06-02-2017	Requisitos para la verificación de un producto de sistema espacial. Define los conceptos fundamentales del proceso de verificación, los criterios para definir la estrategia de verificación y especifica los requisitos para la implementación del programa de verificación. Incluye la lista de la documentación esperada (es decir, definiciones de requisitos de documentos, DRD).
9	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	ECSS-E-HB-11A	01-03-2017	Directrices sobre la forma de evaluar la madurez de una tecnología de un producto en un entorno determinado. ECSS es un esfuerzo cooperativo de la Agencia Espacial Europea, agencias espaciales nacionales y asociaciones industriales europeas a tal efecto de desarrollar y mantener estándares comunes.

No	ENTIDAD	NORMA	FECHA	DESCRIPCIÓN
10	Cooperación Europea para la Normalización del Espacio	ECSS-U-AS-10C	3-12-2019	Identifica las cláusulas y requisitos modificados con respecto a la norma ISO 24113, Sistemas espaciales - Requisitos de mitigación de desechos espaciales, Segunda edición 2011-05-15 para su aplicación en ECSS.

Información que permite asegurar que los proyectos espaciales sean manejados de acuerdo con los estándares internacionales y las mejores prácticas al: identificar y consultar documentos relevantes para la gestión de proyectos espaciales; asegurar que los proyectos espaciales cumplen con los estándares y directrices aplicables; y orientar la planificación e implementación de proyectos espaciales, especialmente en áreas como mitigación de desechos espaciales y pruebas medioambientales.

Al respecto, la Cooperación Europea para la Normalización del Espacio, el 24 de noviembre de 2016, establece específicamente los Estándares de ingeniería ECSS para Proyectos de demostración en órbita de CubeSat, es decir, la **Legislación de ingeniería ECSS de la ESA para proyectos satelitales** que relacionaría directamente la aplicabilidad del presente proyecto y requiere una atención especial descrita en la siguiente sección.

2.3 LEGISLACIÓN A NIVEL NACIONAL

El sector aeroespacial emplea procedimientos complejos con aplicación de técnicas heurísticas que se amplíen a jerarquías paralelas, los cuales requieren arquitecturas de Sistemas de Ingeniería (SI), que correlacionen los productos en un sistema escalable en términos de capacidad y personal para reducir el esfuerzo de replicación en el tiempo (Rodríguez A., 2019). Al respecto, ya existen normas que para satélites y específicamente a CubeSat, pero que requieren de ajustes que corresponden a la comisión espacial del país que realiza la aprobación. Sin embargo, existen nuevos desarrollos tecnológicos, materiales y procesos que se ajustan en dicha normatividad, previa aprobación de la comisión.

La regulación espacial en Colombia es escasa y se orienta como regulación de comunicaciones con base en la legislación internacional (Becerra, 2014). En la **Tabla 24**, se relaciona la legislación del sector espacial en Colombia.

**Tabla 24.** Legislación normativa nacional del sector espacial

NO	LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.	Constitución Nacional 1991	Plan Nacional de Desarrollo.
2.	Ley 152 de 1994	Se establece el Plan Nacional de Desarrollo.
3.	Ley 336 de 1996	Adopta el Estatuto Nacional de Transporte.
4.	Decreto 1079 de 2015	Expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte.
5.	Ley 1569 de 2012	Se ratifica el convenio sobre el Registro de los Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre.
6.	Ley 1591 de 2012	Se ratifica el convenio sobre la Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos.
7	Decreto número 2258 del 6 de diciembre de 2018	Por medio del cual se establecen normas y procedimientos para el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre. Basado en la regulación internacional de las Naciones Unidas y el convenio sobre el Registro de Objetos lanzados al Espacio Ultraterrestre.
8.	Comisión sesión plenaria de 2019	Establece un grupo de trabajo sobre sostenibilidad a largo plazo de las actividades en el espacio ultraterrestre, con el propósito de avanzar en las directrices voluntarias que aún no han sido acordadas. Establece el Grupo de Trabajo encargado de la Agenda “Espacio2030”, con el fin de seguir elaborando una agenda “Espacio2030” y su plan de aplicación.
9.	Declaración de Bogotá de 1976	Se reclama la soberanía sobre la órbita.
10.	Sentencia C-278/04	Por la cual se declara exequible el acuerdo de enmienda al tratado internacional de Intelsat. Corte Constitucional de Colombia. Sentencia C-278 del 23 de marzo de 2004. M. P. Marco Gerardo Monroy Cabra y Manuel José Cepeda Espinosa y Sentencia C-779 del 18 de agosto de 2004, M. P. Jaime Córdoba Triviño, 2004.
11.	Sentencia C-779/04	Por la cual se declara exequible la enmienda a la Constitución de la UIT y su Convenio. 31 Corte Constitucional de Colombia. Sentencia C-278 del 23 de marzo de 2004. M. P. Marco Gerardo Monroy Cabra.
12	Ley 496 de 2020	Colombia ratifica su participación en el Tratado internacional del Espacio, suscrito el 27 de enero de 1967 en Washington, Londres y Moscú.

Fuente: Adaptado de Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020); Fuerza Aérea Colombiana (2021); Süßmann Herrán (2013); UNOOSA, Resolución 2777 (XXVI) (1971); Resolución 467 (2020); Resolución 376 (2022).

En la **Tabla 25**, se presentan algunos documentos nacionales como lineamientos legales para la generación de políticas públicas.

Tabla 25. Documentos nacionales para la creación de lineamientos legales

Nº	ENTIDAD	FECHA	DESCRIPCIÓN
1.	DNP	2008	Lineamientos generales para la implementación de acuerdos de cooperación industrial y social -OFFSETS- relacionados con adquisiciones en materia de defensa en Colombia ² (CONPES 3528, 2008).
2.	DNP	2011	Documento de recomendaciones para la creación de una Agencia Espacial.
3.	DNP	2014	Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014 - 2018: todos por un nuevo país.
4.	DNP	2015	Plan Nacional de Navegación Satelital.
5.	MinComercio ³ - DNP	2017	Metodología tipo de pre-identificación de apuestas productivas a nivel departamental.
6.	IGAC	2017	Plan Nacional de Cartografía Básica Oficial de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
7.	IGAC	2018	Informe de Misión IGAC- Colombia – Unispace+50.
8.	DNP	2018	Panorama general de la planeación del sector aeronáutico en Colombia.
9.	DNP	2018b	Propuesta de estructuración de un fondo para el desarrollo del sector satelital.
10.	DNP	2019	Mercado satelital en Colombia. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

El CONPES 3983 (2020) expone que no se ha creado la agencia pública espacial, ni el plan de navegación, que permitan a las tecnologías espaciales una base para la competitividad del país. Sin embargo, se han lanzado ya dos (2) satélites de Colombia: en el 2007 como iniciativa privada, la Universidad Sergio Arboleda produjo y lanzó el Pico-satélite Libertad 1 (1 UND⁴ y 1 Kg de peso), siendo el primer hito en el tema satelital con órbita baja por 30 días; En el 2018, la FAC lanza el nanosatélite FACSAT-1 (3 UND y 2.4 Kg de peso), desarrollado

2 https://www.mindefensa.gov.co/irj/go/km/docs/Mindefensa/Documentos/descargas/normatividad/EstrategiaPlaneacion/CienciaYTecnologia/CooperacionIndustrialYSocial/7289_CONPES_3528.pdf DNP

3 Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

4 UND corresponde a unidad con característica de 10 cm x 10 cm x 10 cm



con la empresa Danesa GOMspace, y proyectó el lanzamiento del nanosatélite FACSAT-2 (6 UND y 8 kg de peso) en el Q4 del año 2022.

En la **Tabla 26**, se presenta la normativa que aplica al Programa FACSAT a nivel nacional por el Departamento Nacional de Planeación -DNP. Se subrayan los Proyectos de adquisición de satélites en Colombia y su respaldo de política pública.

Tabla 26. CONPES asociados al Programa FACSAT

No	CONPES	FECHA	DESCRIPCIÓN
1.	239	26-03-1969	Garantía del Gobierno nacional a la financiación de la ITT Space Communications, Inc., a Telecom para la construcción de la estación terrestre para comunicaciones espaciales.
2.	1421	24-03-1977 (1977-1982)*	Proyecto de un satélite colombiano para comunicaciones domésticas (Compra de un primer satélite de comunicaciones).
3.	3522	09-06-2008	Lineamientos generales para la implementación de acuerdos de cooperación industrial y social – offsets- relacionados con adquisiciones en materia de defensa en Colombia.
4.	3585	16-02-2009	Consolidación de la política nacional de información geográfica Y la infraestructura colombiana de datos espaciales – ICDE.
5.	3579	25-03-2009 (2009-2010)*	Lineamientos para implementar el proyecto satelital de comunicaciones de Colombia (Compra de un segundo satélite de comunicaciones).
6.	3613	25-09-2009	Complemento al CONPES 3579 del 25 de marzo de 2009: Lineamientos para implementar el proyecto satelital de comunicaciones de Colombia.
7.	3651	15-03-2010	Modificación al documento CONPES 3579 del 25 de marzo de 2009 – lineamientos para implementar el proyecto satelital de comunicaciones de Colombia.
8.	3683	25-09-2009 (2010 - 2012)*	Lineamientos para la formulación del programa nacional de observación de la tierra que incluya el diseño de un Programa satelital colombiano (Compra de un primer satélite de observación de la Tierra).
9.	3762	20-08-2013	Lineamientos de política para el desarrollo de proyectos de interés nacional y estratégicos- PINES.
10.	3866	08-08-2016	Política nacional de desarrollo productivo.
11.	3920	17-04-2018	Política nacional de explotación de datos (BIG DATA).
12.	3958	26-03-2019	Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multipropósito.

No	CONPES	FECHA	DESCRIPCIÓN
13.	3983	13-01-2020	Política de desarrollo espacial: condiciones habilitantes para el impulso de la competitividad nacional.

Nota.*Período en el cual se intentó realizar la compra del satélite.

Fuente: Adaptado de (CONPES 3683, 2010), (CONPES 3958, 2019), (CONPES 3983, 2020), (CONPES 3920, 2018), (CONPES 4129, 2023).

Aunque la construcción de la estación terrestre para comunicaciones espaciales en el municipio de Chocontá, Cundinamarca, se llevó a cabo en 1971 a través del CONPES 239 de 1969, es importante señalar que los documentos CONPES 1421, 2579 y 3683 son los que se ajustaron para abordar las necesidades de comunicaciones e imágenes satelitales (CONPES 3983, 2020)⁵. Esto incluyó la adquisición de satélites, dos de comunicaciones y uno de observación de la Tierra. Sin embargo, esta estrategia no fue suficiente para aprovechar plenamente los beneficios de la tecnología espacial y fomentar el desarrollo productivo y la competitividad del país. En algunos casos, las licitaciones correspondientes no se llevaron a cabo debido a que se declararon desiertas o no se concretaron debido a la falta de conveniencia.

Por otro lado, Colombia y los países de la región Andina, en el marco de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), desarrollaron el Proyecto Cóndor entre el 30 de marzo de 1977 y el 30 de marzo de 2017. Este proyecto tenía como objetivo abordar las necesidades de comunicaciones en la región, y se logró mediante la puesta en órbita del satélite andino SES-10. Cabe destacar que este satélite fue el primero de carácter comercial lanzado en un cohete reutilizable por una empresa estadounidense. Este hito marcó un avance significativo en la cooperación regional en el campo de la tecnología espacial.

2.3.1 Estrategia del SNCCTel de Minciencias

El Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación – SNCCTel se encuentra inmerso dentro del marco legal de Minciencias, tal como se observa en la **Tabla 27**.

5 A partir de Fernández-Shaw (1971).

**Tabla 27. Normatividad de Minciencias**

NOMBRE	TEMA
Ley 1955 de 2019	Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”.
Ley 1951 de 2019	Por la cual se crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1082 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector Administrativo de Planeación Nacional.
Ley 1286 de 2009	Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnológica e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.
Decreto 591 de 26 febrero 1991	Por el cual se regulan las modalidades específicas de contratos de fomento de actividades científicas y tecnológicas.
Decreto 585 de 26 febrero 1991	Por el cual se crea el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se reorganiza el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología-Colciencias- y se dictan otras disposiciones.
Decreto 584 de 26 febrero 1991	Por el cual se reglamentan los viajes de estudio al exterior de los investigadores nacionales.
Decreto 393 de 08 febrero 1991	Por el cual se dictan normas sobre asociación para actividades científicas y tecnológicas, proyectos de investigación y creación de tecnologías.
Decreto 2227 de 2019	Por el cual se suprime la planta de personal del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación y se establece la planta de empleos del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
Decreto 2226 de 2019	Por medio del cual se establece la estructura del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Elaborado a partir de Normas Generales Minciencias (Ley 1955, 2019).

El gasto público en ciencia, tecnología e innovación (CTeI) en Latinoamérica es extremadamente bajo, representando aproximadamente el 0,0002% del Producto Interno Bruto (PIB), lo que resulta insuficiente para incentivar al sector privado (CONPES 3983, 2020). En la legislación, es fundamental considerar la “economía espacial”, ya que esta se refiere a la generación de ingresos a partir de actividades espaciales, relacionadas con la manufactura y la prestación de servicios en áreas como las comunicaciones, los sistemas de navegación y la observación de la Tierra, entre otros (García Martínez-Peñalver, Gago Areces & Fontán Oñate, 2014, p. 122), tal como lo menciona el CONPES 3983 (2020). Por lo tanto, se espera que los impactos económicos y sociales se desarrollen a través del uso de tecnologías espaciales,

impulsados por convocatorias de Minciencias y el convenio Minciencias-FAC, que buscan generar efectos profundos en la productividad y competitividad del país.

2.4. IMPORTANCIA DEL SECTOR ESPACIAL PARA EL PAÍS

2.4.1 Aportes de las actividades del sector al PIB

Las tres (3) iniciativas políticas en el campo aeroespacial en Colombia (1977–1982, 2009–2010, 2010–2012) que se pueden apreciar en el (CONPES 3983, 2020), se han enfocado solo en un aspecto, la compra de un satélite, el cual es de importancia para diferentes aspectos en el campo aeronáutico, espacial, de comunicaciones y comercio. Pero hay aspectos, tal vez de mayor relevancia, como en el campo del desarrollo de nuevas tecnologías espaciales y otros potenciales empleos que darían un mayor impacto en aspectos económicos, en innovación y tecnología, lo cual, permitiría el desarrollo económico y tecnológico de la nación (Rodríguez A., 2021).

Aunque aún se considera un campo aislado, realmente la industria aeronáutica y espacial, permitiría dar soluciones y desarrollo a muchos aspectos de la economía para lograr un desarrollo sostenible, ya que no solo abarca desde la creación e innovación aplicable a este campo, sino que se puede aplicar a otros campos como la salud, academia, investigación y el desarrollo económico.

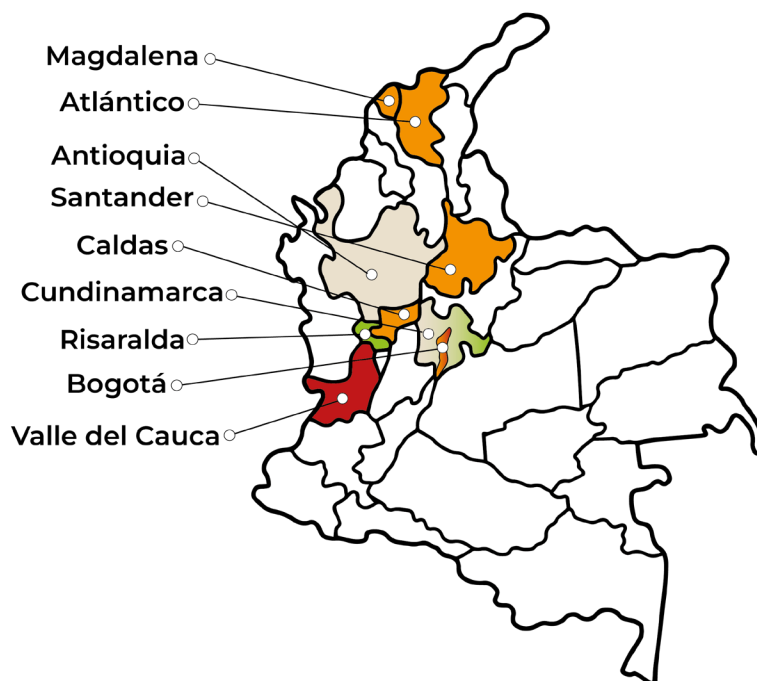
Esto se puede apreciar en el *Catálogo Nacional de Cualificaciones del Sector Aeroespacial 2020* de Aerospacific, donde Rodríguez A. (2021) expone, en la **Tabla 28**, las actividades relacionadas con la fabricación de equipos para el desarrollo de servicios aeroespaciales por departamento en Colombia.

**Tabla 28.** Cantidad de apuestas productivas departamentales pre priorizadas

DEPARTAMENTO	CANTIDAD CIU REV 3.1	DEPARTAMENTO	CANTIDAD CIU REV 3.1
Antioquia	13	Norte de Santander	12
Atlántico	14	Quindío	2
Bogotá	17	Risaralda	6
Bolívar	9	Santander	13
Boyacá	7	Sucre	3
Caldas	7	Tolima	3
Caquetá	1	Valle	12
Cauca	5	Arauca	3
Cesar	4	Casanare	4
Córdoba	4	Putumayo	1
Cundinamarca	10	San Andrés	2
Chocó	2	Amazonas	4
Huila	3	Guainía	3
Guajira	8	Guaviare	1
Magdalena	5	Vaupés	3
Meta	6	Vichada	2
Nariño	6		

Fuente: Rodríguez A (2021).

Rodríguez A. (2021) también expone en la **Figura 2** las actividades relacionadas con la fabricación de equipos para el desarrollo de servicios aeroespaciales por departamento, donde se muestran los códigos CIU Rev. 3.1 A.C., implementados como CIU Rev. 4 A.C. desde 2012 (Resolución 066 DANE, 2012). Estas actividades son comúnmente realizadas por los mismos grupos industriales (Organization for Economic Co-operation & Development, 2012), correlacionados con la CIU Rev. 4 A.C. por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y el Departamento Nacional de Planeación (2017), y actualizados en 2020 por la Resolución 0549 DANE (2020).

Figura 2. Actividades relacionadas a la fabricación y servicios aeroespaciales

ACTIVIDADES		DETALLE DE CORRESPONDENCIA CIIU VER 3.1. VS VER 4 A. C.	DIVISIONES REV. 4 A. C. (61 AGRUPACIONES)
CÓD_CIIU REV 3.1 (2006)	CÓD_CIIU REV 4 A.C. (2020)		
3410: Fabricación de vehículos automotores y sus motores	Sección C, División 29, Grupo 291. Clase 2910: Fabricación de vehículos automotores y sus motores		054: Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques; fabricación de otros tipos de transporte
ACTIVIDADES		DETALLE DE CORRESPONDENCIA CIIU VER 3.1. VS VER 4 A. C.	DIVISIONES REV. 4 A. C. (61 AGRUPACIONES)
CÓD_CIIU REV 3.1 (2006)	CÓD_CIIU REV 4 A. C. (2020)		
3430: Fabricación de partes, piezas (autopartes), accesorios (lujos) para vehículos automotores y para sus motores.	Sección C, División 13, Grupo 139. Clase 1392: Confección de artículos con materiales textiles, excepto prendas de vestir	Fabricación de tejidos utilizados para el tapizado interior de vehículos.	037-038: Preparación, hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles; fabricación de otros productos textiles, confección de prendas de vestir.
	Sección C, División 28, Grupo 281. Clase 2811: Fabricación de motores, turbinas y partes para motores de combustión interna.	Fabricación de pistones y aros de pistón, válvulas de admisión y de escape, etc., para motores de vehículos.	053-057: Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.; instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo.



	ACTIVIDADES		DETALLE DE CORRESPONDENCIA CIIU VER 3.1. VS VER 4 A.C.	DIVISIONES REV. 4 A.C. (61 AGRUPACIONES)
	CÓD_CIIU REV 3.1 (2006)	CÓD_CIIU REV 4 A.C. (2020)		
		Sección C, División 29, Grupo 293. Clase 2930: Fabricación de partes, piezas (autopartes), accesorios (lujos) para vehículos automotores y para sus motores.	Fabricación de partes y accesorios para vehículos de motor, fabricación de asientos de automóviles, equipos electrónicos de vehículos de motor (excepto válvulas de admisión y de escape de los motores de combustión interna.	090-093: Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de administración empresarial; actividades de consultoría de gestión; actividades de arquitectura de ingeniería; ensayos y análisis técnicos; investigación científica y desarrollo; publicidad y estudios de mercado; otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias.
	ACTIVIDADES		DETALLE DE CORRESPONDENCIA CIIU VER 3.1. VS VER 4 A.C.	DIVISIONES REV. 4 A.C. (61 AGRUPACIONES)
	CÓD_CIIU REV 3.1 (2006)	CÓD_CIIU REV 4 A.C. (2020)		
	7421: Actividades de arquitectura e ingeniería y actividades conexas de asesoramiento técnico	Sección M, División 71, Grupo 711. Clase 7111: Actividades de arquitectura.	-	090-093: Actividades jurídicas y de contabilidad; actividades de administración empresarial; actividades de consultoría de gestión; actividades de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos; investigación científica y desarrollo; publicidad y estudios de mercado; otras actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades veterinarias.
		Sección M, División 71, Grupo 711. Clase 7112: Actividades de ingeniería y otras actividades conexas de consultoría técnica.	-	
		Sección M, División 74, Grupo 741. Clase 7410: Actividades especializadas de diseño.	Diseño Industrial de herramientas, asientos de automóviles, envases, etc.	
		Sección M, División 74, Grupo 749. Clase 7490: otras actividades profesionales, científicas y técnicas n.c.p.	Actividades de predicción meteorológica y las actividades de los consultores técnicos (que no sea ingenieros, etc.).	

	ACTIVIDADES		DETALLE DE CORRESPONDENCIA CIIU VER 3.1. VS VER 4 A.C.	DIVISIONES REV. 4 A.C. (61 AGRUPACIONES)
	CÓD_CIIU REV 3.1 (2006)	CÓD_CIIU REV 4 A.C. (2020)		
	3110: Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos	Sección C, División 26, Grupo 261. Clase 2610: Fabricación de componentes y tableros electrónicos.	Fabricación de transformadores electrónicos (estado sólido), bobinas y otros inductores.	052: Fabricación de aparatos y equipo eléctrico; fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos.
		Sección C, División 27, Grupo 271. Clase 2711: Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos.	-	
		Sección C, División 27, Grupo 279. Clase 2790: Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico n.c.p.	Fabricación de cargadores de baterías, rectificadores, convertidores de estado sólido	
		Sección C, División 28, Grupo 281. Clase 2811: Fabricación de motores, turbinas y partes para motores de combustión interna.	Fabricación de generadores de turbina.	053-057: Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.; instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo.
		Sección C, División 33, Grupo 331. Clase 3312: Mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo.	Mantenimiento y reparación de generadores de turbina.	
		Sección C, División 33, Grupo 331. Clase 3314: Mantenimiento y reparación especializado de equipo electrónico.	Reparación de motores eléctricos, generadores y transformadores eléctricos, cargadores de baterías, etc.	
		Sección C, División 33, Grupo 332. Clase 3320: Instalación especializada de maquinaria y equipo editorial	Instalación de motores eléctricos, generadores y transformadores eléctricos.	

Fuente: Rodríguez A. (2021).



2.4.2. Formas de agrupación del sector privado en Colombia

Existen diversas maneras de agrupar al sector privado en Colombia, entre las cuales se incluyen los grupos empresariales, clústeres, asociaciones, corporaciones, fundaciones e instituciones de utilidad común (gremios), federaciones y confederaciones (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020; Gerencie.com, 2020; Decreto 410 de 1971 Nivel Nacional, 2020; Rodríguez A., 2021).

Actualmente, se manejan Alianzas cooperativas bajo condiciones que regularán la toma de decisiones y ejecución de actividades (ver **Tabla 29**).

Tabla 29. Sociedades civiles de Colombia que agrupan el sector espacial

ASOCIACIÓN	SIGLA	LOGO	NIT / LÍDER
Clúster Aeroespacial del Pacífico	Aerospacific		901.366.067-2 Dr. Cesar Augusto Rodriguez Adaime PhD. Presidente - RL
Asociación Clúster Aereoespacial y Turístico del Caribe	CLAC		901.707.665-1 Adlei John Del risco Xiquez Presidente -RL
Asociación Colombiana de Productores Aeroespaciales	Acopaer		900.455.589-7 Ing. Guillermo Ramos J. Presidente
Clúster Aeroespacial Colombiano	Caescol		900.875.722-9 Ing. Diego Alexander Muñoz Morales Presidente -RL
Aeroclúster de Boyacá	Aeroboyacá		901.373.120-4 Ing. Cesar Hernando López Zarabanda Presidente
Federación de la Industria Aeroespacial Colombiana	Fediac		901.400.802-5 Ing. Diego Alexander Muñoz Morales Presidente - RL

ASOCIACIÓN	SIGLA	LOGO	NIT / LÍDER
Corporación Científica del Sector Aeroespacial	COCSA		901.644.179-1 Ingrid Pamela Calderon Presidente
Clúster Aeronáutico Región Eje Cafetero Colombia	Clare		A través de la Cámara de Comercio Dosquebradas (Lorenza Martínez)
Cauca Valley Aerospace Cluster	CVAC		A Través de CRTM
National Space Society Colombia	NSS Colombia		A través de National Space Society (USA) Raúl Gutiérrez

Fuente: Modificado al 2024 de Rodriguez A. (2021).

En el aporte al cierre de brechas, las asociaciones jurídicas deben socializar la transversalidad de los avances realizados en las temáticas espaciales, como parte de la estrategia de divulgación de los aportes y resultados, evidenciando donde se promueven alianzas entre los actores Universidad – Empresa – Estado – Sociedad, que son los pilares de fortalecimiento de I+D+i (Minciencias, 2022). De hecho, algunas asociaciones como el Clúster Aeroespacial del Pacífico – Aerospacific, al igual que ACOPAER contribuyen en la divulgación de la cadena de valor asociada, visibilizando los beneficios e impactos en las diferentes áreas del conocimiento que interactúan en ella y la relación con los desarrollos del programa espacial de la FAC (Rodriguez A., 2021).

2.5 ANÁLISIS DE LA POLÍTICA ESPACIAL EN COLOMBIA

A pesar de que Colombia adopta, apoya e implementa tratados y normas internacionales con relación a la política espacial, y se dan acercamientos con respecto a una estructura orgánica que permita realizar su operación, no se puede negar que dichas iniciativas son incipientes y que el camino para establecer una política sería que apenas comienza.

Es importante analizar que en cuanto a Sudamérica, la mayoría de los países han logrado impulsar el desarrollo del sector espacial a través del establecimiento de políticas nacionales y la conformación de estructuras orgánicas (Agencias) con funciones específicas encargadas de liderar, fomentar, planear y conseguir los recursos económicos necesarios para su sostenimiento, ya sea a través de tratados, procesos de cooperación,



incentivos económicos (propios para el impulso del desarrollo del sector), convenios a nivel privado y el establecimiento de recursos monetarios destinados al desarrollo de programas y proyectos.

De acuerdo con Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020, p. 222), los países detallan intenciones de sus políticas espaciales en documentos oficiales. Por su parte, Colombia no cuenta con un documento de esta naturaleza, lo cual impide que tener una idea clara de lo que el Estado colombiano pretende alcanzar en esta área.

El desarrollo de una estrategia espacial reduce las fallas en su implementación, puesto que permite que el gobierno nacional (incluido el congreso), el internacional, y la industria posean lineamientos claros que garanticen el desarrollo de la misión anticipándose a errores de base (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2020, p. 222).

La Comisión Colombiana del Espacio desde el 2013, a través de la implementación de planes, proyectos y programas, lidera el desarrollo espacial colombiano en la integración al escenario internacional, generando la línea de ruta del desarrollo industrial y de conocimiento para Colombia.

El organismo cuenta con la autonomía ni el liderazgo para impulsar adecuadamente el desarrollo espacial dentro del país a través de una política de Estado, con el fin de crear una capacidad autónoma de recursos espaciales y, sino que se apoya en políticas de Estado sin una base estructural real y eficiente (Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez, 2019, p. 57).

Es fundamental establecer una política espacial robusta y sostenible que trascienda gobiernos individuales y se enfoque en las necesidades a largo plazo de Colombia. La política espacial debe estar diseñada para desarrollar capacidades autónomas en la administración de recursos espaciales, garantizar la formación continua del personal y asegurar la participación activa tanto del sector público como del privado. En la **Tabla 30**, se presentan los puntos clave que una política espacial adecuada para Colombia debería contemplar según Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2019, p. 81).

Tabla 30. Enfoques Estratégicos para el desarrollo de la política espacial en Colombia

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES / IMPLICACIONES
Política Espacial en Contexto de Estado	Crear una capacidad autónoma para administrar recursos espaciales, enfocada en metas a largo plazo que respondan a las necesidades nacionales. Implica el desarrollo de políticas sostenibles bajo la responsabilidad del Gobierno Nacional, con personal especializado.	Requiere un compromiso constante del gobierno y la formación de una estructura especializada para asegurar la continuidad.
Programa Integral de Formación	Establecer un programa de formación continua para personal en áreas administrativas y científicas, asegurando la sostenibilidad del conocimiento. Universidades e institutos serán clave en la capacitación mediante programas educativos.	Promueve la creación de un capital humano capacitado y preparado para enfrentar los desafíos del programa espacial.
Adecuación de la Estructura del Estado	Ajustar la estructura estatal para proporcionar autonomía a la institución encargada del programa espacial en términos de administración, financiación y operación. Requiere reestructuración de entidades estatales y un financiamiento adecuado.	La reestructuración puede implicar cambios en la burocracia y en la asignación de recursos, lo que puede ser un proceso complejo.
Elevación de la Política al Máximo Liderazgo Estatal	Elevar la política espacial al más alto nivel de liderazgo estatal para asegurar su protección y promoción adecuada. Líderes estatales deben liderar campañas de sensibilización para fomentar el apoyo público y político.	Asegura que el programa reciba el apoyo y la visibilidad necesarios, promoviendo un mayor compromiso público y gubernamental.
Involucrar al Sector Privado	Involucrar al sector privado para asegurar la viabilidad financiera del programa espacial. Incentivar la inversión privada y fomentar colaboraciones estratégicas para convertir el programa en un proyecto nacional con participación activa de empresas privadas.	Facilita la captación de recursos y la integración de innovaciones del sector privado, contribuyendo a la sostenibilidad financiera del programa.

Fuente: Adaptado de Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2019, p. 81).

La Política Espacial para Colombia debe centrarse en desarrollar una capacidad autónoma de gestión de recursos espaciales a largo plazo, respaldada por un programa integral de formación continua con la colaboración de universidades e institutos. Es crucial ajustar la estructura estatal para proporcionar la autonomía necesaria y asegurar un financiamiento adecuado, mientras se eleva la política espacial al más alto nivel de liderazgo estatal para garantizar su protección y promoción. Además, la viabilidad financiera del programa dependerá de la efectiva inclusión del sector privado, incentivando inversiones y



colaboraciones estratégicas. Estos elementos combinados asegurarán la sostenibilidad y desarrollo del programa espacial colombiano.

De esta manera, el Gobierno de Colombia establece las bases legales y diseña una política espacial en el ámbito estatal, con la capacidad de liderar los procesos que consolidarán el desarrollo del sector y las prerrogativas que esto conlleva para los programas sociales, económicos y la defensa de la soberanía. Becerra (2014) plantea que la regulación espacial en Colombia es escasa y se orienta principalmente hacia las comunicaciones, basándose en la legislación internacional, sin permitir que Colombia aproveche plenamente los beneficios de las tecnologías espaciales. Es importante señalar que estas tecnologías no se limitan al ámbito militar, como sucedía durante la Guerra Fría, sino que se han vuelto transversales para la economía y el sector público (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD], 2004, 2005, 2008, 2013).

Al respecto, la CCE⁶ crea un documento público denominando “Política de Desarrollo Espacial: Condiciones Habilitantes Para el Impulso de la Competitividad Nacional”. Su implementación se proyecta hasta diciembre de 2021 con recursos por 1.904 millones de pesos (CONPES 3983, 2020; DNP, 2020)⁷.

Los resultados del diagnóstico espacial revelados en el (PND 2018-2022, 2019) apuntan a la necesidad de una política pública basada en evidencia, destacando el impacto de la democratización del espacio y la falta de información que identifica deficiencias en el desarrollo del sector espacial (ver **Tabla 31**; CONPES 3983, 2020) y el análisis de (Minciencias, 2021, 2022).

6 Departamento Nacional de Planeación, Presidencia de la República, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Defensa Nacional, Ministerio del Trabajo, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

7 El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) aprueba en Bogotá, el 22 de enero de 2019, la Política de Desarrollo Espacial para darle una mayor relevancia al uso de tecnologías satelitales para la productividad del país (DNP, 2020).

Tabla 31. Desafíos en el desarrollo del sector espacial en Colombia

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	IMPLICACIONES
Política Nacional	La ausencia de una visión integral que limita el desarrollo y la sostenibilidad del programa espacial a largo plazo.	Las iniciativas actuales se limitan a la compra de satélites para comunicaciones e imágenes satelitales Otros esfuerzos: - La FAC carece de suficiencia de recursos para satisfacer las demandas actuales - Iniciativas privadas sin legitimidad para representar al Estado
Gobernanza	Carencia de una agencia colombiana del estado que: gestione la política espacial, articule actores públicos y privados, y represente al Estado a nivel internacional	La ausencia de un programa nacional espacial, limita la colaboración interinstitucional No hay representación ante la comunidad internacional La ineficiencia en el gasto público de los servicios satelitales Limitada política pública que promueva la inversión privada.
Infraestructura	Deficiencia en los segmentos terrestre, espacial, soporte, lanzamiento, almacenamiento y diseminación de datos	Barreras tecnológicas para el desarrollo del sector productivo en servicios y bienes Dependencia tecnológica internacional
Capital humano especializado	Limitada inversión en la educación formativa y la investigación científica	No hay suficiente personal calificado para desarrollar actividades científicas e industriales Fuga de cerebros por ausencia de ofertas de mercado
Conciencia espacial	Falta de un conocimiento y promoción de los beneficios potenciales del uso tecnologías espaciales en la sociedad y sectores relevantes.	Baja aceptación pública y falta de apoyo que podría obstaculizar la formulación de políticas y la generación de iniciativas. La falta de un enfoque educativo y de divulgación limita la capacidad de la sociedad y los responsables de políticas para reconocer la importancia de las tecnologías espaciales, lo que puede resultar en una insuficiente inversión en investigación, desarrollo y aplicación de estas tecnologías.

Fuente: Adaptado de Minciencias (2021); CONPES 4129 (2023).



Se identifican cinco causas raíz que limitan el desarrollo espacial en Colombia (política nacional, gobernanza, infraestructura, capital humano especializado y conciencia espacial). La ausencia de una visión integral en la política espacial, la falta de una agencia de gobernanza adecuada, las deficiencias en infraestructura y educación científica, y una baja conciencia pública sobre las tecnologías espaciales son factores críticos que afectan la capacidad del país para avanzar en el ámbito espacial.

Al respecto, Vicepresidencia de la República, a través de la **Colombia de la Comisión Colombiana del Espacio -CCE**, compartió un drive con documentos cargados al Sistema de Gestión de Documentos CONPES (SisCONPES 2.0), en el que se incluye documentación informativa del como avanzan las líneas de acción⁸.

El desarrollo del sector espacial en Colombia demanda una planificación estratégica integral y la implementación de políticas adecuadas para enfrentar desafíos y aprovechar oportunidades. Para ello, se identifican tres estrategias clave que abordan los ejes problemáticos delineados en los diagnósticos del (PND 2018-2022, 2019) y (CONPES 3983, 2020). Estas estrategias presentadas en la **Tabla 32** se centran en la caracterización del sector espacial, para tener una visión estratégica, la construcción de una hoja de ruta que permita superar las barreras para la iniciativa privada y potenciar la demanda de productos y servicios espaciales, y establecer un marco de gobernanza sólido y alineado con la realidad del sector para coordinar esfuerzos entre actores e instituciones (incluye la coordinación y adaptación normativa).

Tabla 32. Estrategias para el desarrollo del sector espacial en Colombia

ASPECTO	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
Caracterizar el Sector Espacial para tener una visión estratégica (Minciencias, 2021)	a. Identificación de capacidades científicas y tecnológicas	Evaluar y documentar las capacidades existentes en ciencia y tecnología espacial para establecer una visión estratégica.
	b. Comprensión del mercado potencial en bienes y servicios satelitales	Analizar el mercado de bienes y servicios satelitales para identificar oportunidades y desafíos.
	c. Implementación de una estrategia de promoción de la educación, conocimiento y curiosidad científica	Desarrollar e implementar estrategias para fomentar la educación en ciencia espacial, aumentar el conocimiento y estimular la curiosidad científica en la sociedad.

8 <https://drive.google.com/drive/folders/1wvvNjwj-BcjY9NLrUP2HrVVwW3CDc0oE>

Construir una Hoja de Ruta con las condiciones para superar barreras de la iniciativa privada y como superarlas (Minciencias, 2022)	a. Identificar potencialidad de innovación, emprendimiento y conocimiento tecnológico	Determinar áreas con alto potencial para la innovación y el emprendimiento en el sector espacial, así como el conocimiento tecnológico necesario.
	b. Estrategia de cierre de brechas de capacidades en innovación, emprendimiento y transferencia de conocimiento y tecnología	Desarrollar estrategias para cerrar las brechas existentes en capacidades de innovación, emprendimiento y transferencia de conocimiento.
	c. Potenciar la demanda de bienes y servicios espaciales por parte del sector público y privado	Implementar medidas para aumentar la demanda de productos y servicios espaciales, incentivando tanto al sector público como al privado.
Definir un Marco de Gobernanza Para promover la articulación entre actores e instituciones	a. A través de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) ⁹	Utilizar la Comisión Colombiana del Espacio como el principal organismo para coordinar y articular esfuerzos en el sector espacial.
Definir un Marco de Gobernanza Para promover la articulación entre actores e instituciones	b. Definir líneas estratégicas para el desarrollo del sector	Establecer directrices y prioridades estratégicas para el desarrollo del sector espacial en Colombia.
	c. Establecer una agenda de cooperación internacional	Crear una agenda para fomentar la cooperación con actores internacionales, incluyendo acuerdos y alianzas estratégicas.
	d. Adaptación del marco normativo del país	Ajustar y actualizar el marco normativo nacional para apoyar la implementación de la política espacial y adaptarse a las necesidades del sector.

Fuente: Adaptado de PND 2018-2022 (2019) y CONPES 3983 (2020).

De las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, se encuentra el pacto VII Por la transformación digital de Colombia: Gobierno, empresas y hogares conectados con la era del conocimiento, bajo el cual se enmarca la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, mediante la cual se accede y maneja la información digital. Para ello, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) unifican las comunicaciones tecnológicas, integran las telecomunicaciones y las computadoras habilitando la agregación de valor transversal en la economía (PND 2018-2022, 2019).

Las tecnologías satelitales permiten aplicaciones que fortalecen la conectividad segura y veloz, el conocimiento del territorio y de los recursos naturales (observación de la Tierra) y la navegación (sistemas globales de navegación satelital), que permite una mayor

9 CCE, creada por el Gobierno nacional con el Decreto 2442 de 2006.



competitividad entre países. El reto B. del PND 2018-2022 (2019), “Hacia una sociedad digital e industria 4.0: por una relación más eficiente, efectiva y transparente entre mercados, ciudadanos y Estado”, plantea como estrategias impulsar la transformación digital sectorial, mediante la Implementación de una política nacional para desarrollar el sector espacial. En suma, se planteó basarse en el CONPES 3866 (2016), Política Nacional de Desarrollo Productivo para crear el diseño de política pública, que finaliza en el (CONPES 3983, 2020) Política de Desarrollo Espacial: Condiciones Habilitantes Para el Impulso de la Competitividad Nacional.

El 30 de junio 2021 se realizó el tercer corte de seguimiento a la implementación de la política. Desde Vicepresidencia de la República, a través de la Comisión Colombiana del Espacio -CCE se socializa la aprobación del proyecto de ley 496 de 2020 Cámara – 202 de 2020 Senado, que ratifica el compromiso de Colombia con el desarrollo espacial, con la participación en el Tratado internacional del Espacio, suscrito el 27 de enero de 1967 en Washington, Londres y Moscú. El Tratado Espacial¹⁰ ofrecerá posibilidades de empleos y crecimiento industrial, creación de nuevas tecnologías (I4.0), electrónica y los sistemas de información (CCE, 2021).

2.6 LEYES ESPACIALES Y SU IMPACTO EN LAS OPERACIONES MILITARES

Los principios de las leyes espaciales se agrupan en cuatro pilares respecto a su impacto en las operaciones militares son (Advanced Space Operations School, 2020):

1. Definir los fundamentos del derecho internacional.
2. Identificar las principales disposiciones de los tratados espaciales.
3. Identificar otras leyes internacionales relacionadas con el espacio.
4. Listar las leyes nacionales claves relacionadas con el espacio.

La ley espacial conjuga las leyes internacionales y las domesticas. Entendiendo que las fuentes del derecho internacional se fundamentan en los tratados internacionales y el derecho internacional consuetudinario que refiere a la práctica de Estado, el Sentido de obligación legal (Opinio Juris) (Advanced Space Operations School, 2020).

10 Pertenecen 128 Estados. Prohíbe a los gobiernos la militarización, el uso de armas de destrucción masiva, así como que el espacio ultraterrestre, -incluso la Luna y otros cuerpos celestes-, no podrá ser objeto de apropiación nacional por reivindicación de soberanía, uso u ocupación, ni de ninguna otra manera, ya que son patrimonio común de la humanidad.

A pesar de la crisis de vinculatoriedad respecto a la normativa de derecho espacial, las actividades espaciales garantizan el principio fundamental de la Carta de las Naciones Unidas¹¹ con la generación del tratado internacional de 1967, constitución del espacio (Outer Space Treaty - OST), que incluye la Luna cuerpos celestes, a un contexto normativo vinculante que trata de la extensión y garantía del mantenimiento de la paz y seguridad en el espacio. La articulación del tratado internacional de 1967 se realiza de tres maneras (Süssmann Herrán, 2013):

1. Medidas que eliminen las actividades bélicas y de agresión en el espacio;
2. Previendo situaciones que puedan generar tensiones que lleven a actos de agresión y regulándolas de una vez para evitar vacíos jurídicos.
3. Una modalidad de cooperación internacional sobre la implementación de condiciones pacíficas y el desarrollo del espacio ultraterrestre en escenarios que permitan a los Estados abordar y resolver controversias (Zuluaga C., Aristizábal M., & Sánchez P., 2020).

Siguiendo la Pirámide de Kelsen, existen cuatro tratados internacionales de derecho espacial que no se enfocan en la responsabilidad de las actividades humanas, sino en el impacto positivo de las misiones espaciales, tanto en órbita como en la corteza terrestre. Estos tratados se presentan en el siguiente orden (Advanced Space Operations School, 2020; CONPES 3983, 2020; Süssmann Herrán, 2013; UNOOSA, Resolución 2777 (XXVI), 1971; UNOOSA, Resolución 3235 (XXIX), 1975; UNOOSA, Resolución 34/68, 1979):

1. 1968, Rescate y salvamento de astronautas (Rescue and Return Agreement).
2. 1972, Responsabilidad por desechos (Liability Convention).

11 Artículo 1. Los Propósitos de las Naciones Unidas son: 1. Mantener la paz y la seguridad internacionales, y con tal fin: tomar medidas colectivas eficaces para prevenir y eliminar amenazas a la paz, y para suprimir actos de agresión u otros quebrantamientos de la paz; y lograr por medios pacíficos, y de conformidad con los principios de la justicia y del derecho internacional, el ajuste o arreglo de controversias o situaciones internacionales susceptibles de conducir a quebrantamientos de la paz; 2. Fomentar entre las naciones relaciones de amistad basadas en el respeto al principio de la igualdad de derechos y al de la libre determinación de los pueblos, y tomar otras medidas adecuadas para fortalecer la paz universal; 3. Realizar la cooperación internacional en la solución de problemas internacionales de carácter económico, social, cultural o humanitario, y en el desarrollo y estímulo del respeto a los derechos humanos y a las libertades fundamentales de todos, sin hacer distinción por motivos de raza, sexo, idioma o religión; y 4. Servir de centro que armonice los esfuerzos de las naciones por alcanzar estos propósitos comunes



3. 1975, Registro de objetos (Registration Convention).
4. 1979, Actividades en la Luna y otros cuerpos celestes (Moon Agreement).
5. El tratado internacional de 1967 es constituido por 103 países para el 2015 (24 sin ratificar) y da soporte a la legitimidad y vinculatoriedad de documentos de Soft Law.

El Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre de 1967, también conocido como “Declaración de los principios jurídicos que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre,” establece un marco legal para la conducta de las naciones en el espacio exterior. Este tratado incluye disposiciones sobre la responsabilidad, la exploración pacífica, y la cooperación internacional, entre otros aspectos. En la **Tabla 33**, se presenta una síntesis de los artículos y otros temas relevantes del tratado (Süssmann Herrán, 2013).

Tabla 33. Resumen del tratado sobre el espacio ultraterrestre de 1967

ARTÍCULO	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
1, 6, 7, 8	Exploración y Responsabilidad	La exploración espacial es libre y para el beneficio de toda la humanidad, bajo condiciones de paz. Los Estados son responsables de las actividades espaciales, incluidas las de entidades no gubernamentales.
2	No Apropiación	Ningún país puede reclamar soberanía sobre cuerpos celestes.
3	Derecho Internacional	Actividades espaciales deben seguir el derecho internacional y la Carta de las Naciones Unidas.
4	Uso Pacífico	Prohibición de armas nucleares y bases militares en el espacio. El personal militar solo puede participar en investigaciones pacíficas.
5	Asistencia a Astronautas	Los astronautas son considerados “enviados de la humanidad” y deben recibir asistencia en caso de emergencia.
9	Protección Ambiental	Prohibición de la contaminación del espacio y la interferencia con actividades de otros.
10	Observación de Actividades	Un Estado puede observar lanzamientos y vuelos espaciales de otro Estado.
11	Información Pública	Los Estados deben informar al Secretario General de la ONU sobre sus actividades espaciales, quien lo comunicará a la comunidad internacional.

ARTÍCULO	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
12	Acceso Recíproco	Las instalaciones espaciales deben ser accesibles a otros Estados miembros bajo la base de reciprocidad.
13	Aplicación Universal	Las disposiciones del tratado se aplican a todos los Estados, tanto de manera individual como en cooperación.
14	Firma y Depositaria	Tratado abierto a la firma; Estados Unidos, Reino Unido y URSS son los depositarios.
15	Enmiendas	Cualquier Estado miembro puede proponer enmiendas.
16	Retiro	Cualquier Estado puede retirarse después de un año de vigencia.
Otros Temas	Regulaciones Prácticas	- Prohibición de intimidación sexual y consumo de alcohol en el espacio.
		- Requisitos estrictos de registro para aeronaves espaciales.
		- Restricciones sobre alimentos como el pan para evitar daños a equipos.

Fuente: Adaptado de Süssmann Herrán (2013).

Se destacan las principales disposiciones del Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre, que establece un marco jurídico internacional para la exploración y uso pacífico del espacio exterior. Se enfatiza la responsabilidad estatal, la no apropiación de cuerpos celestes, el respeto al derecho internacional, y la cooperación internacional. Además, se mencionan regulaciones prácticas adicionales para asegurar la seguridad y el orden en las actividades espaciales.

El Tratado sobre el Espacio Exterior establece un marco legal internacional para la regulación de actividades en el espacio ultraterrestre. Según la Advanced Space Operations School (2020) y Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020), existen diez principios clave que guían la exploración y uso del espacio por parte de los Estados. Estos principios aseguran que las actividades espaciales se realicen de manera pacífica, responsable y bajo el derecho internacional (ver **Tabla 34**).

Tabla 34. Principios clave del tratado sobre el espacio exterior

PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN	RELEVANCIA ACTUAL
1. Libertad de uso y exploración	Todos los Estados tienen derecho a explorar y usar el espacio libremente.	Facilita la participación global en la exploración espacial y fomenta la innovación.



PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN	RELEVANCIA ACTUAL
2. No apropiación	Ningún país puede reclamar soberanía sobre el espacio o los cuerpos celestes.	Mantiene el espacio como un bien común, evitando conflictos territoriales.
3. Aplicación del derecho internacional y la Carta de la ONU	El derecho internacional y la Carta de la ONU se aplican al espacio; incluye la prohibición del uso de la fuerza y el derecho a la defensa propia (Klein, 2016).	Garantiza el uso pacífico del espacio y establece un marco legal para la resolución de disputas.
4. Armas en el espacio	Prohibición de armas nucleares u otras ADM en el espacio; cuerpos celestes solo para fines pacíficos.	Promueve la seguridad global y previene la militarización del espacio.
5. Astronautas como enviados de la humanidad	Los astronautas deben ser tratados como enviados de la humanidad, con derechos de rescate y devolución según el Acuerdo de 1968.	Fomenta la colaboración internacional en misiones tripuladas y la seguridad de los astronautas.
6. Responsabilidad internacional y actividad espacial nacional	Los Estados son responsables de las actividades espaciales nacionales, incluyendo la regulación a través de agencias como la FAA, FCC, NOAA, y DARPA.	Asegura la supervisión y cumplimiento de estándares internacionales en actividades espaciales.
7. Responsabilidad	Basada en el Convenio de Responsabilidad Civil de 1972; incluye regímenes de responsabilidad absoluta y basada en fallas.	Proporciona un marco para la compensación por daños causados por actividades espaciales.
8. Jurisdicción y control sobre objetos espaciales	Los Estados mantienen jurisdicción sobre los objetos espaciales registrados, incluyendo la gestión de desechos espaciales y la eliminación activa de escombros.	Aborda la creciente preocupación por la gestión de desechos espaciales y la sostenibilidad de las actividades espaciales.
9. Debida consideración y consultas	Requiere consideración y consultas para evitar interferencias dañinas en las actividades espaciales de otros Estados.	Promueve la cooperación y coordinación internacional en la exploración espacial.
10. Cooperación internacional	Fomenta la cooperación y transparencia internacional, incluyendo la obligación de informar a la ONU sobre actividades espaciales y registrar objetos espaciales (Fundación Innovación Bankinter, 2019)	Fortalece la colaboración global y la transparencia en el uso del espacio.

Fuente: Adaptado de Advanced Space Operations School (2020); Álvarez Calderón & Corredor Gutiérrez (2020); Fundación Innovación Bankinter (2019); Klein (2016).

Se presentan los principios fundamentales del Tratado sobre el Espacio Exterior, destacando la regulación del uso pacífico del espacio, la prohibición de armas, y la responsabilidad de los Estados en sus actividades espaciales. Además, subraya la importancia de la cooperación internacional y la transparencia en las actividades espaciales, garantizando que estas se realicen en beneficio de toda la humanidad y bajo el

amparo del derecho internacional. Estos principios forman la base del marco jurídico que rige las operaciones en el espacio, promoviendo la paz y la seguridad en la exploración y uso del espacio ultraterrestre.

La responsabilidad internacional en actividades espaciales se relaciona con problemas recurrentes, especialmente en lo que respecta a la creación de escombros, operaciones de encuentro y proximidad, y la eliminación activa de desechos. Estos problemas se abordan dentro del marco de los principios clave del Tratado sobre el espacio exterior, que establece normas para conductas responsables en el espacio (Ver **Tabla 35**).

Tabla 35. Problemas y principios asociados

PROBLEMA	PRINCIPIOS ASOCIADOS	DESCRIPCIÓN Y CASOS NOTABLES
Creación Intencional de Escombros	1, 4, 9	La generación de escombros espaciales intencionalmente, como en los casos del cohete Ariane (1996), Fengyun 1C (China), Cosmos 2251 (Rusia), y la Operación Burnt Frost (EE. UU.).
Operaciones de Encuentro y Proximidad	1, 2, 4, 9, 10	Maniobras cercanas de satélites, como el caso de los satélites rusos que causaron preocupación a Intelsat debido a comportamientos anormales y preocupantes.
Eliminación Activa de Escombros (ADR)	1, 2, 4, 6, 7, 8	Esfuerzos para limpiar la órbita terrestre baja (LEO) de escombros, abordando el crecimiento de objetos en el espacio y promoviendo medidas ambientales sostenibles en observación de la Tierra.

Fuente: Adaptado de Advanced Space Operations School (2020); Solarte (2014); Galdorisi, (2013); El Internacionalista (2023).

La gestión de la responsabilidad internacional en el espacio es crucial para la seguridad y sostenibilidad de las actividades espaciales. La creación de escombros, las operaciones de encuentro y proximidad, y la eliminación de desechos son áreas donde los principios del Tratado sobre el espacio exterior guían las acciones y normativas para mitigar riesgos y promover la cooperación internacional.

El derecho espacial a nivel doméstico regula las actividades espaciales dentro de un país, adaptando las normativas internacionales a sus contextos específicos. En los Estados Unidos, varias leyes nacionales impactan tanto las operaciones militares como los programas espaciales, y las regulaciones de transferencia de tecnología militar se rigen



por la ITAR (International Traffic in Arms Regulations). (Ver **Tabla 36**; Advanced Space Operations School, 2020).

Tabla 36. Regulaciones domésticas y su impacto

ÁMBITO	LEY O REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN
Operaciones Militares	Título 10, 18, 50 del Código de EE.UU.	Incluyen leyes sobre Fuerzas Armadas, Crímenes y Procedimientos Criminales, y Defensa Nacional, que impactan las actividades militares en el espacio.
Programas Espaciales	Título 51 del Código de EE.UU.	Regula los programas espaciales tanto estatales como comerciales, estableciendo directrices para su desarrollo y operación.
Transferencia de Tecnología Militar	ITAR (International Traffic in Arms Regulations)	Regula la transferencia y exportación de tecnología militar y municiones, incluyendo vehículos espaciales y artículos relacionados bajo la categoría XV.

Fuente: Adaptado de Advanced Space Operations School (2020).



3. ANÁLISIS TÉCNICO Y TECNOLÓGICO





El marco legal doméstico de los Estados Unidos juega un papel crucial en la regulación de actividades espaciales y militares. A través de leyes específicas y regulaciones como ITAR, se garantiza que las operaciones se alineen con los intereses nacionales de seguridad y defensa, además de cumplir con las normativas internacionales aplicables.

La misión espacial FACSAT-2 depende del fortalecimiento de las habilidades y conocimientos del personal involucrado, así como de la infraestructura y las prácticas de gestión implementadas. La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) debe enfocarse en mejorar las competencias de su equipo, especialmente en áreas cruciales como sistemas de ingeniería, software, pruebas y ensayos, control de calidad y aseguramiento. Es fundamental que el personal cuente con una formación adecuada para asegurar la correcta apropiación de conocimientos y tecnologías proporcionados por los expertos aliados. Las instalaciones del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) ofrecen las condiciones necesarias para el desarrollo del proyecto hasta la fase de diseño preliminar, con un adecuado nivel de seguridad ocupacional y protección.

El cumplimiento de los objetivos del proyecto FACSAT-2 depende de un continuo proceso de capacitación, actualización y definición de responsabilidades del equipo de trabajo, así como de la generación y gestión efectiva de documentación. Este proceso incluye el análisis detallado de los sistemas y subsistemas del CubeSat, y la adquisición de software, herramientas y equipos necesarios para el proyecto. La infraestructura del CITAE, equipada con laboratorios especializados y una estación de comando y control, permiten el ensamble e integración del modelo de componentes satelitales. Sin embargo, por el riesgo de contaminación en el transporte a las instalaciones de integración y pruebas del modelo de vuelo, se limita el alcance del uso de las instalaciones de Colombia para el desarrollo de la misión localmente.

Una gestión documental cumpliendo los estándares internacionales con la inclusión de lecciones aprendidas aseguran la trazabilidad, el cumplimiento de requisitos y el establecer planes de mejora para futuras misiones.

III. ANÁLISIS TÉCNICO Y TECNOLÓGICO

En el tercer capítulo se realiza un análisis de los recursos técnicos y tecnológicos que debe poseer o adquirir la Fuerza Aérea Colombiana, para dar respuesta eficiente y efectiva en la misión espacial **FACSAT-2**. Se llevará a cabo una presentación conceptual de un CubeSat, con sus partes y componentes, para luego identificar con base en el Manual de análisis y diseño de misiones espaciales (SMAD-ESA) (Marsden, 2002), las oportunidades de mejoramiento, desarrollos y proyectos que se pueden formular para adquirir las capacidades y demás recursos deseados, tales como herramientas y equipos para la construcción del satélite como las instalaciones necesarias para el cumplimiento de las operaciones.

Se emplea de base un instrumento de valoración de la estructura documental (**Instrumento de valoración Estructura Documental FACSAT-2**) que maneja **la misión espacial FACSAT-2**, para levantar datos relacionados con recursos existentes y la factibilidad de ejecutar todas las actividades en la misión, ya sea independiente o su necesidad de trabajar conjuntamente con otra empresa de mayor madurez y experiencia en el desarrollo de satélites que les permita adquirir la transferencia tecnológica adecuada para instalar su capacidad a nivel nacional de Colombia.

3.1 SATÉLITES

Según Valdez Alvarado (2011, p. 8) un satélite corresponde a un objeto que lleva a cabo una órbita alrededor de otro, al cual se le denomina como “principal”. Para el caso particular de la industria espacial, se han desarrollado satélites artificiales, los cuales se definen como naves fabricadas en tierra y enviadas al espacio a través de vehículos de lanzamiento (cohetes), los cuales contienen una carga útil y con una misión definida, de acuerdo con el proyecto y utilización. Los satélites artificiales pueden orbitar alrededor de los satélites naturales, cometas, asteroides, planetas e incluso llegar otras galaxias y después de cumplir su misión, generalmente quedan suspendidos en el espacio como basura espacial.

De acuerdo con los datos estadísticos suministrados por la Union of Concerned Scientists (UCS), sitio que lleva el conteo oficial de la cantidad de satélites que orbitan la Tierra y además los detalles técnicos de cada uno de ellos, empezando por el país al que



representan y donde fueron fabricados, actualmente a corte del 1 de enero del 2021 hay un total de 3,372 satélites en el espacio, de los cuales 1,918 estaban en órbita terrestre baja (LEO) (Valdez Alvarado, 2011, p. 8).

3.1.1. Historia de los primeros satélites artificiales

La historia de los satélites artificiales está profundamente marcada por la competencia espacial durante la Guerra Fría entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Esta carrera espacial, que comenzó con la exploración inicial del espacio mediante cohetes, sentó las bases para el desarrollo de tecnología espacial moderna. Diversos hitos muestran la capacidad creciente para lanzar y operar satélites que transforman la comunicación, la observación y la investigación científica. La **Tabla 37** destaca algunos de los desarrollos más significativos que marcaron el avance en la carrera espacial (Valdez Alvarado, 2011, p. 8).

Tabla 37. *Primeros desarrollos calven en la historia de los satélites artificiales*

AÑO	DESARROLLO
1946	Cohetes alemanes V-2, para mediciones atmosféricas, inician la era espacial.
1946-1952	Cohetes V-2 y Aerobee, para la investigación de la parte superior de la atmósfera, mediciones de la presión, densidad y temperatura hasta una altitud de 200 km.
1957	Lanzamiento del primer satélite artificial de la humanidad llamado Sputnik (URSS), 4 de octubre
1958	Lanzamiento del cohete Jupiter-C (Fuerza Aérea y Armada de USA) con un satélite denominado Explorer I
1960	Lanzamiento del primer satélite de comunicaciones denominado el Echo I, el cual era un satélite pasivo. No equipado con un sistema bidireccional, sino que funcionaba como un reflector
1962	Lanzamiento del primer satélite de comunicaciones activos, el Telstar I, creando el primer enlace televisivo internacional

Fuente: Adaptado de Valdez Alvarado (2011).

La evolución de los satélites artificiales marcó la transición de la exploración espacial inicial a aplicaciones más avanzadas en comunicación y tecnología. Desde el lanzamiento de los primeros cohetes y satélites, hasta el establecimiento de enlaces de comunicación internacionales, cada hito representa un avance significativo en la capacidad tecnológica y el entendimiento del espacio. Estos desarrollos no solo subrayan la competencia entre las superpotencias durante la Guerra Fría, sino también el impacto duradero de estos

logros en la infraestructura y la tecnología espacial actuales. La historia de los satélites artificiales demuestra cómo los avances en la ciencia y la ingeniería llevan a una era en la que los satélites juegan un papel crucial en la vida cotidiana, desde las comunicaciones globales hasta la investigación científica avanzada.

3.1.2 Tipos de satélites artificiales

De acuerdo con Valdez Alvarado (2011, p. 9), los satélites se pueden dividir en dos grupos: por las misiones a desarrollar y por su peso. En la **Tabla 38**, se explican los satélites artificiales por misiones.

Tabla 38. *Satélites artificiales por misiones*

SATÉLITE	MISIÓN
Meteorológicos	Registrar el tiempo atmosférico y el clima de la tierra.
Observación terrestre	Observación del medio ambiente, meteorología, cartografía sin fines militares.
Comunicaciones	Telecomunicaciones. Suelen utilizar órbitas geosíncronas, órbitas de Molniya u órbitas bajas terrestres.
Navegación	Utilizan señales para conocer la posición exacta del receptor en la tierra.
Astronómicos	Observación de planetas, galaxias y otros objetos astronómicos.
Energía solar	En órbita excéntrica que envíen la energía solar recogida hasta antenas en la tierra como una fuente de alimentación.
Biosatélites	Llevar organismos vivos, generalmente experimentos científicos.
Estaciones espaciales	Estructuras diseñadas para vivir en el espacio exterior. No dispone de propulsión o capacidad de aterrizar, utilizando otros vehículos como transporte hacia y desde la estación.
Reconocimiento (Espías)	Observación o comunicaciones utilizados por militares u organizaciones de inteligencia. La mayoría de los gobiernos mantienen su información cómo secreta.
Asesinos (armas antisatélite)	Destruir satélites enemigos, otras armas orbitales y objetivos. Algunos, armados con proyectiles cinéticos, otros usan armas de energía o partículas, misiles balísticos o mirv.

Fuente: Adaptado de Valdez Alvarado (2011, p. 9); Le Moigne, Adams & Nag (2020).

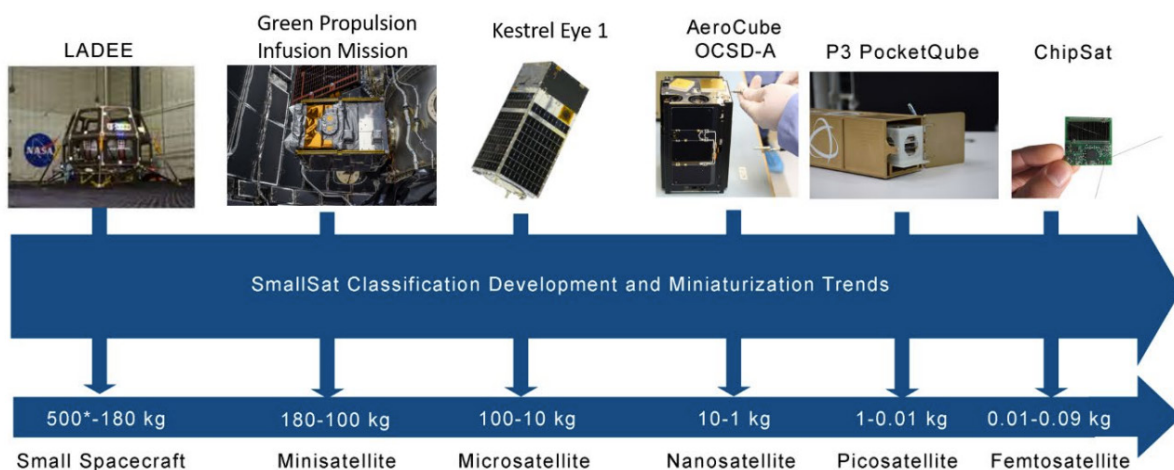
En la **Tabla 39** se muestran los satélites artificiales clasificados por su peso (Valdez Alvarado, 2011, p. 9).

**Tabla 39.** Satélites artificiales por su peso

SATÉLITES	PESO
Grandes satélites	> 1000 Kg
Medianos	entre 500 y 1000 Kg
Mini satélites	100 y 500 Kg
Micro satélites	10 y 100 Kg
Nano satélites	1 y 10 Kg
Pico satélite	0,1 y 1 Kg
Femto satélite	< 100 g

Fuente: Adaptado de Clasificación de la NASA STMD (Le Moigne, Adams, & Nag, 2020); (Alen, 2022); (Valdez Alvarado, 2011).

A pesar de que esta clasificación en términos de peso es la más empleada, se debe aclarar que según el estudio realizado por Shiotani (2018, p. 25) se presentan algunas diferencias entre las consideraciones de peso de algunas agencias espaciales tales como la NASA, ESA, JAXA, SSTL y IAA (ver **Figura 3**).

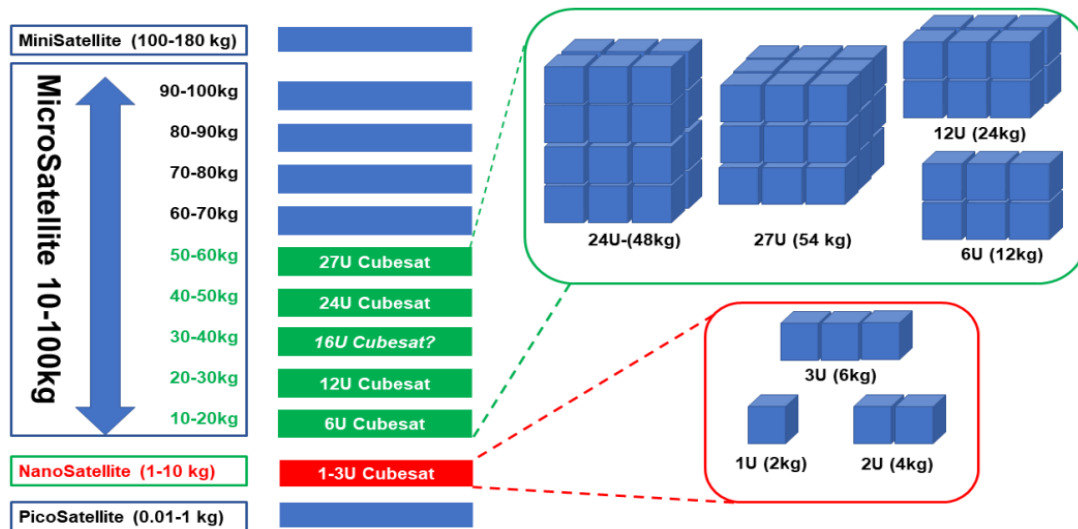
Figura 3. Categorías de naves espaciales pequeñas

Nota: *Definición tradicional de pequeños satélites (Smallsats).

Fuente: NASA (2024).

La **Figura 4** representa gráficamente esta clasificación dejando inmersa la solución de la distribución espacial de los elementos y componentes.

Figura 4. Tipos de satélites de acuerdo con su naturaleza, forma y tamaño



Fuente: NASA (2024).

De acuerdo con Alén.space (2021, p. 6) actualmente se están desarrollando estándares en formato experimental de picosatélites como PocketQubes (Masa de lanzamiento: 250 g; y Dimensiones: 5 cm × 5 cm × 5 cm), Sun Cubes o TubeSats (Alén.space, 2021, p. 6).

3.2 NANOSATÉLITES

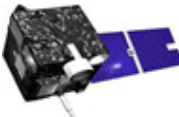
En el año 2004 la NASA introdujo por primera vez el término de nanosatélite con el fin de identificar los pequeños satélites artificiales con una masa entre 1 Kg y 10 Kg, los cuales han sido el resultado de la evolución actual de la tecnología gracias a las ventajas generadas por la microelectrónica (miniaturización de componentes y sistemas, mediante la cual es posible conseguir altas prestaciones a cambio de un tamaño y un peso reducidos), lo cual implica la utilización de técnicas de bajo costo, y por ende, su producción masiva (Valdez Alvarado, 2011, p. 9).

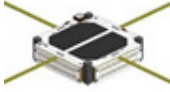
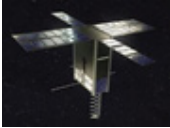
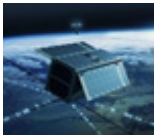


Por otro lado, de acuerdo con el Boletín tecnológico de la Superintendencia de Industria y Comercio (2017) se define a los “**Nanosatélites**”, como sondas, sensores ópticos y meteorológicos, entre otros, que son un tipo de vehículo espacial no tripulado que, dado su escaso tamaño y peso, constituyen los instrumentos más pequeños puestos en órbita por el hombre hasta el presente. Fueron diseñados con el objetivo de reducir los elevados costos financieros asociados a la tecnología de punta requerida para lanzar un artefacto al espacio exterior (Valdez Alvarado, 2011, p. 9).

En la **Tabla 40**, se presenta un resumen de los principales nanosatélites conocidos a nivel internacional.

Tabla 40. Principales nanosatélites lanzados hasta el 2019

ORGANIZACIÓN / 1ER LANZADO (LANZAMIENTOS / TAMAÑO)	CUBE-SAT / MISIÓN	VALOR (U\$)	OBSERVACIONES	IMAGEN
Planet / 2013 (324/150+)	3U Observación de la tierra	\$ 183 millones	Sensor 29 MP que toma imágenes de 3.7 m de resolución en tierra e hilera de 24.6 km x 16.4 km de 475 km de altitud	
Spire / 2013 (85/150+)	3U Clima/ AIS/ ADS-B	\$ 149.5 millones	Medición del clima en señal GPS pasando por la atmosfera para calcular perfiles precisos de temperatura, presión y humedad	
Astro Digital / 2014 (5/10+20)	6U/16U Observación de la tierra	\$ 16.7 millones	6U con 22 m de resolución en RGB y NIR, 16U con 2.5 m de resolución en RGB, borde rojo, y NIR que usa un sensor de 70 MP	
Sky and Space Global / 2017 (3/200)	8U IoT / M2M/ voz	\$ 11.5 millones	Planes para utilizar los enlaces satelitales subcon- tratados por GOMspace	
GeoOptics / 2017 (5/?)	6U Clima	\$ 5.15 millones	Satélites subcontratados por Tyvak	

ORGANIZACIÓN / 1ER LANZADO (LANZAMIENTOS / TAMAÑO)	CUBE-SAT / MISIÓN	VALOR (U\$)	OBSERVACIONES	IMAGEN
Swarm Technologies / 2018 (4/?)	0.25U/1U IoT y M2M		Pequeños satélites de comunicaciones a nivel mundial	
Kepler Communications / 2018 (1/140)	3U/? IoT y M2M	\$ 5 millones	Cuota mensual basada en el importe de los datos. pretende conseguir tasas de 1-40 Mbps. Clyde Space provee por los menos los 2 primeros	
Analytical Space / 2018 (1/?)	6U Relé óptico, IoT y M2M	\$ 4 millones	Recibe relé de radio y enlaces, por láser de comunicaciones habilitado más data para bajar información	
PlanetiQ / 2018 (0/18)	6U Clima	\$ 5 millones	Ocultación basada en radio GPS. Tendrá espectrómetro y radiómetro microwave.	
Hiber (Magnitude Space) / 2018 (0/48)	6U IoT y M2M	\$ 6.2 millones	Enviar pequeños paquetes de datos (140 caracteres, acompañado con sello de tiempo y localización)	
Capella Space / 2018 (0/48)	12U Búsqueda y rescate	\$ 12 millones	Resolución de 1m y 30 m. Pasa cada 3.6 horas en la zona ecuatorial.	
Astrocast / 2018 (0/64)	3U IoT y M2M	\$ 7.1 millones	Misión de demostración en el 2018. Banda objetivo. Links de intersatélites. Propulsión nanospace.	

Fuente: Adaptado de Rebollar (2018) y eoportal (2024).

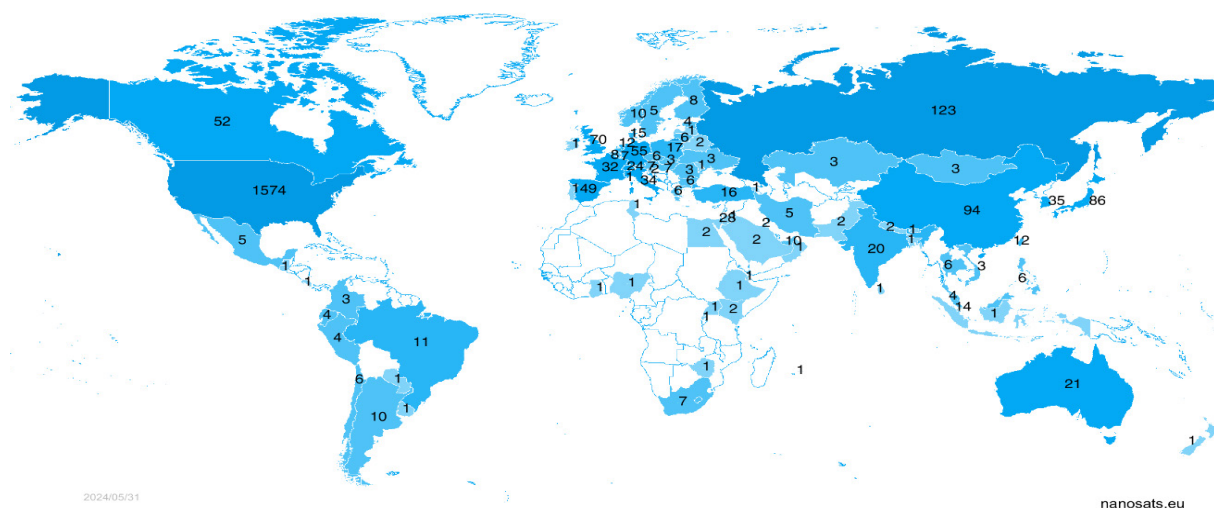
Estados Unidos lidera los avances en el desarrollo de satélites a pequeña escala en áreas como seguimiento global, internet de las cosas (IoT), comunicaciones, defensa y seguridad, sensores remotos y misiones científicas (Rodríguez Pirateque, Arzola de la Peña, & Cortés García, 2020, p. 111; GOMspace, 2021; Superintendencia de Industria y Comercio, 2017; Alén.space, 2021).



3.2.1. Estadísticas relevantes de los Nanosatélite

Según la Nanosats Database, al 31 de mayo de 2024, se han lanzado un total de 2,604 nanosatélites, incluyendo 2,396 CubeSats, 83 PocketQubes y 16 CubeSats interplanetarios (Kulu, 2024). Esta base de datos, la más grande del mundo en nanosatélites, cubre 86 países y 751 empresas involucradas en el desarrollo y lanzamiento de estos dispositivos. En términos de lanzamiento, Estados Unidos lidera con un total de 1.574, seguido por Rusia con 123, China con 94, Japón con 86 y Canadá con 52. En Sudamérica, Brasil destaca con 11 nanosatélites lanzados, posicionándose como el país líder en la región (ver **Figura 5**). La proyección indica que más de 2,080 nanosatélites adicionales se lanzarán entre 2022 y 2027, lo que refleja el crecimiento continuo de esta tecnología en la industria espacial (Kulu, 2024).

Figura 5. Registro de lanzamiento de nanosatélites a nivel mundial

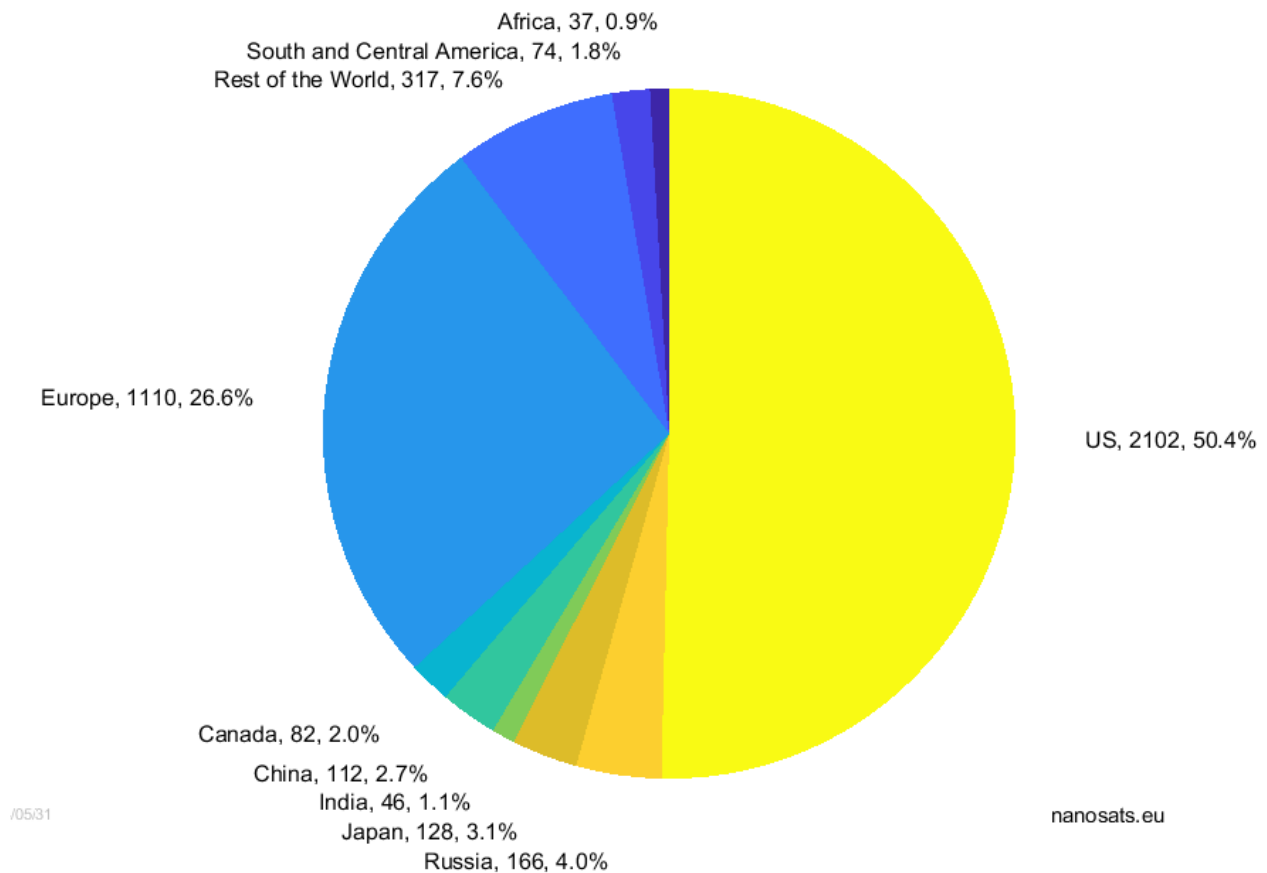


Fuente: Kulu (2024).

El análisis de la distribución global de nanosatélites destaca la posición dominante de Estados Unidos con un 50.4% y de Europa con el 26.6 %, subrayando la importancia de la inversión en tecnología espacial. Para Suramérica, con una participación combinada de 1.8 % entre Sudamérica y Centroamérica, este panorama resalta la necesidad urgente de fortalecer la infraestructura y la cooperación regional en el sector espacial. Aprovechar esta oportunidad para aumentar la inversión y fomentar alianzas internacionales podría

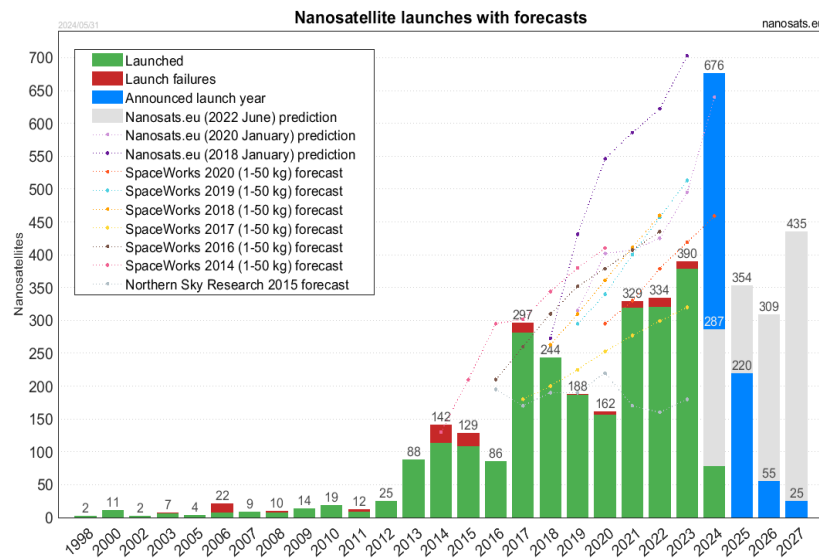
impulsar significativamente el desarrollo satelital en la región, ayudando a cerrar la brecha tecnológica y mejorar la presencia global de los países suramericanos en el espacio (ver **Figura 6**; Kulu, 2024).

Figura 6. Registro de nanosatélites por locaciones



Nota. *Caso misión FACSAT-2. Fuente: Kulu (2024).

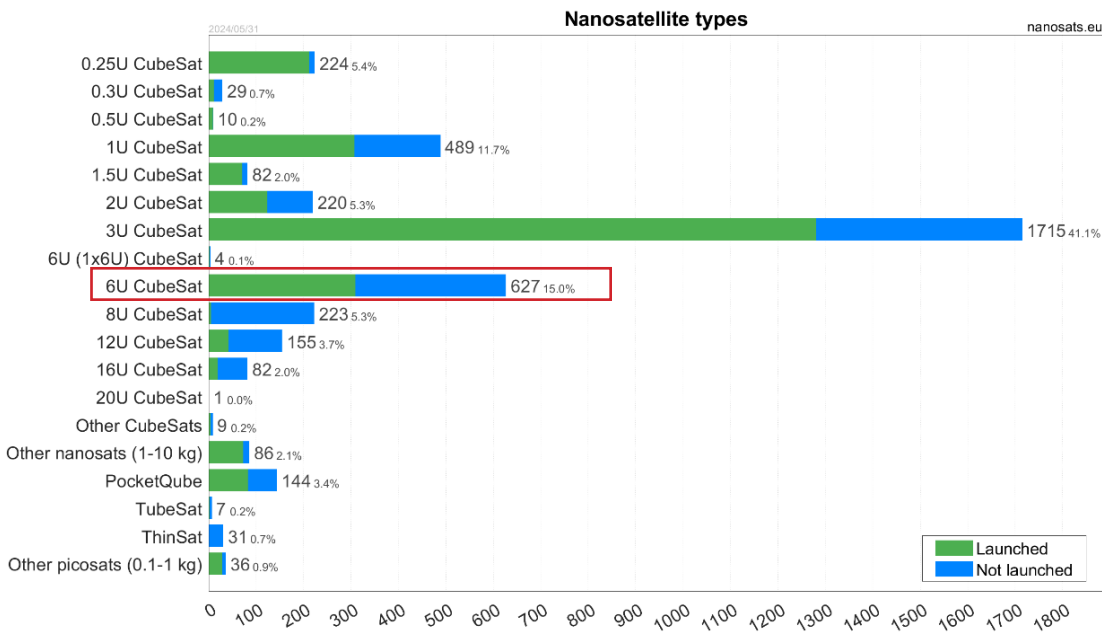
La **Figura 7** ilustra el registro histórico del desarrollo de nanosatélites desde 1998 hasta la fecha, con una proyección hasta 2027. A partir de 2020, se aprecia un aumento constante y una baja tasa de fallos, indicando avances en tecnología y operatividad de las misiones. Este crecimiento resalta la democratización del acceso al espacio y la mayor participación de países emergentes, a la vez que subraya la necesidad de invertir en infraestructura, capacitación y colaboración internacional para mejorar la capacidad y reducir errores futuros (Kulu, 2024).

**Figura 7.** Registro histórico de nanosatélites

Fuente: Kulu (2024).

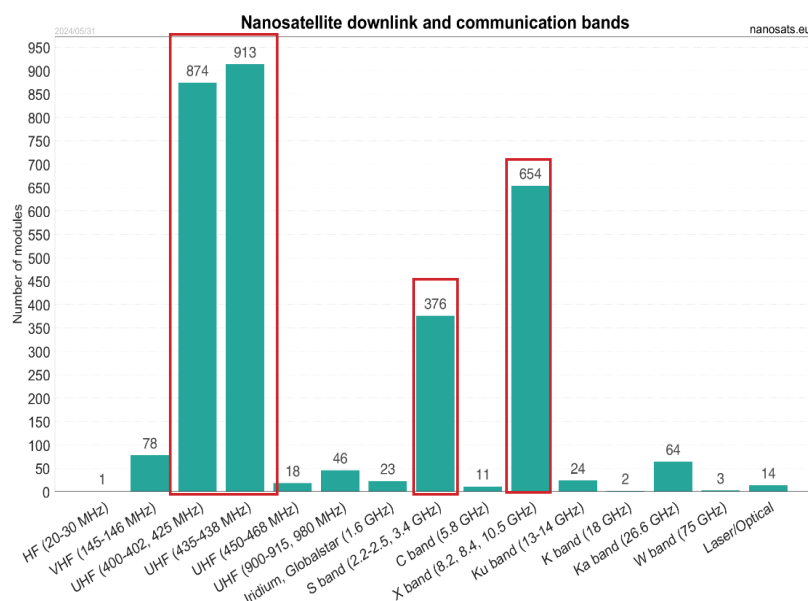
Las fluctuaciones en los lanzamientos de nanosatélites se deben a varios factores, incluyendo cambios en la demanda de capacidades específicas como la observación de la Tierra y telecomunicaciones, la disponibilidad de opciones de lanzamiento, y el costo de los mismos. Además, la evolución hacia satélites más grandes y la variabilidad en los tiempos de lanzamiento también afectan el número anual de lanzamientos. Estas dinámicas reflejan tanto los avances tecnológicos como los desafíos logísticos en el sector espacial.

La **Figura 8** presenta la estadística y porcentajes de desarrollo por tipos de nanosatélites lanzados, teniendo en cuenta que la misión espacial **FACSAT-2** se caracteriza por ser un CubeSat tipo 6U se puede indicar que el 15.0 % de los satélites lanzados y no lanzados. Esto es relevante, porque la misión sigue las tendencias globales, siendo este tipo de sistemas el segundo tipo de nanosatélite más desarrollado y lanzado a nivel mundial en el marco del Newspace (Pelton, Potter, & Stott, 2018; Kulu, 2024).

Figura 8. Tipos de nanosatélites lanzados

Fuente: Kulu (2024).

Las estadísticas globales del portal “nanosats.eu” muestran que las frecuencias de Banda S y Banda X, utilizadas en la misión espacial FACSAT-2, están presentes en el 34 % de los satélites lanzados mundialmente (ver **Figura 9**) (Kulu, 2024). La Banda UHF (435-438 MHz) es la más común, representando el 29.4 % con 913 nanosatélites, seguida por otras bandas UHF y la Banda X. Estas frecuencias son cruciales para aplicaciones en exploración terrestre, meteorología y comunicación inalámbrica. La operación y control del FACSAT-2 se realizarán mediante una antena RGB en la Banda S/X desde el Comando Espacial de la FAC – SpOC en EMAVI – Cali, que también gestiona el FACSAT-1 y el SAT Chiribiquete.

**Figura 9. Frecuencia de banda de nanosatélites**

Fuente: Kulu (2024).

De acuerdo con esta clasificación y teniendo en cuenta los datos registrados en Thomson Innovation, Espamet, USPTO y Laipat (2017), el grupo relacionado con estructura y propulsión presenta la mayor cantidad de invenciones y patentes aprobadas (ver **Figura 10 (a)**), y de igual manera, con las relacionadas con la actividad inventiva e impacto (ver **Figura 10 (b)**) (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 22).

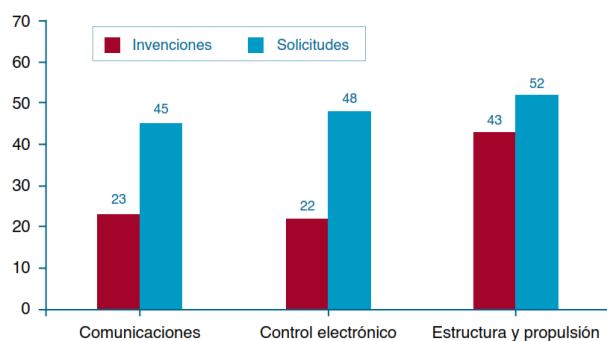
Figura 10. Tendencias tecnológicas a nivel internacional Nanosatélites

Figura (a)

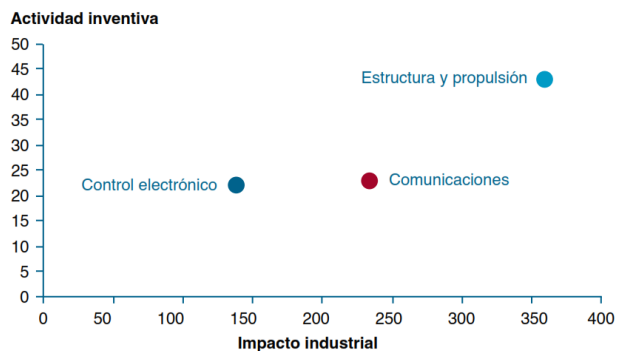


Figura (b)

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio (2017, p. 22).

3.3 CUBESAT

El CubeSat surgió en 1998 como un proyecto desarrollado entre el Departamento de Aeronáutica y Astronáutica que la Universidad de Stanford tenía con DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) y la Corporación Aeroespacial (Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021).

Como parte de un programa de la Agencia de proyectos de defensa, la Corporación Aeroespacial proyectaron lanzar un Picosatélite (del tamaño de una barra de helado Klondike). Reto que los estudiantes de postgrado en ingeniería de Stanford, asumen construyendo el lanzador como el porta-cartuchos de una pistola, microsat, con un soporte donde se expulsa un resorte colapsado, cuando es necesario. El microsat se llamaba Lanzadores Automatizados Orbitando Picosat (OPAL) y con la misión de desplegarlos picosats cuando estuvieran en órbita terrestre. OPAL y los picosats se lanzaron en 2000. OPAL y los picosats demostraron la viabilidad de que los estudiantes trabajen en satélites más pequeños como picosats. Con el programa de microsateélites para estudiantes, era difícil lograr que ellos terminaran un diseño porque había demasiado espacio y se seguía incluyendo elementos a los experimentos satelitales (Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021, p. 10)

Después de los PicoSats, Jordi Puig-Suari (Profesor de la Universidad Estatal Politécnica de California – Cal Poly) y el estadounidense Bob Twiggs (Profesor del laboratorio de desarrollo de Sistemas Espaciales de la Universidad de Stanford) crearon un nuevo concepto: **CubeSat** (con una masa del orden entre 1 a 1.3 kg y forma de cubo de 10 cm de arista (1U)), estándar internacional aceptado por la NASA para la creación de estas naves espaciales desde las especificaciones de construcción hasta la puesta en órbita (NASA, 2017, p. 12; Cortés García, Acuña Mateus, & Pachón Pinilla, 2019, p. 12). Como regla general, los CubeSat se lanzan en órbitas circulares o elípticas bajas comprendidas entre 400 km y 650 km.

En la **Figura 11**, se presenta la imagen de dos CubeSat diferenciados en el número de unidades.

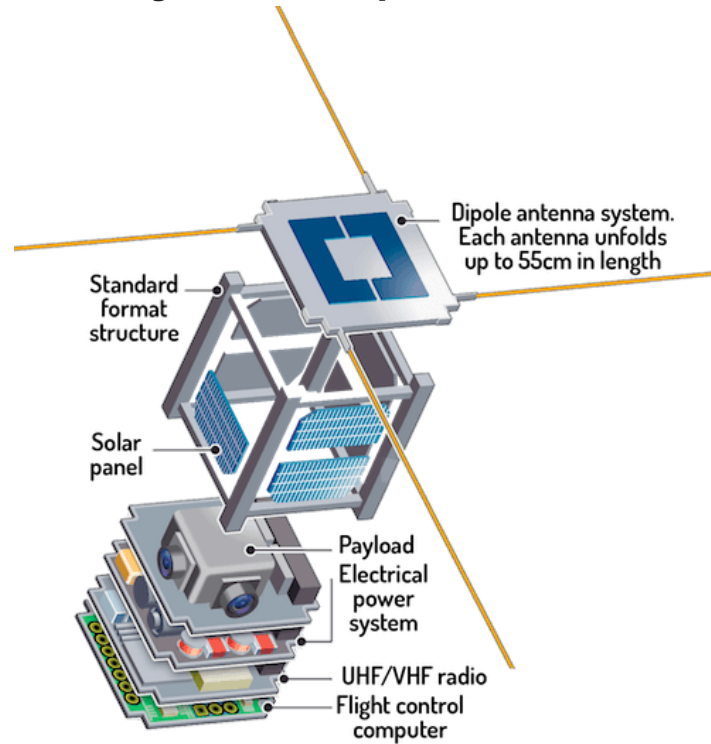
**Figura 11.** *CubeSat*

Fuente: NASA (2017, p. 12).

El dispensador genérico para satélites tiene unas dimensiones e interfaz definidas con el lanzador para facilitar el proceso de lanzamiento de un satélite, por lo que su responsabilidad pasa a ser del proveedor del servicio de lanzamiento, es decir, que ya no es potestad del diseñador del sistema espacial. Lo que facilita el proceso de fabricación, cualificación e instalación (Tubio Pardavila, 2012, p. 61).

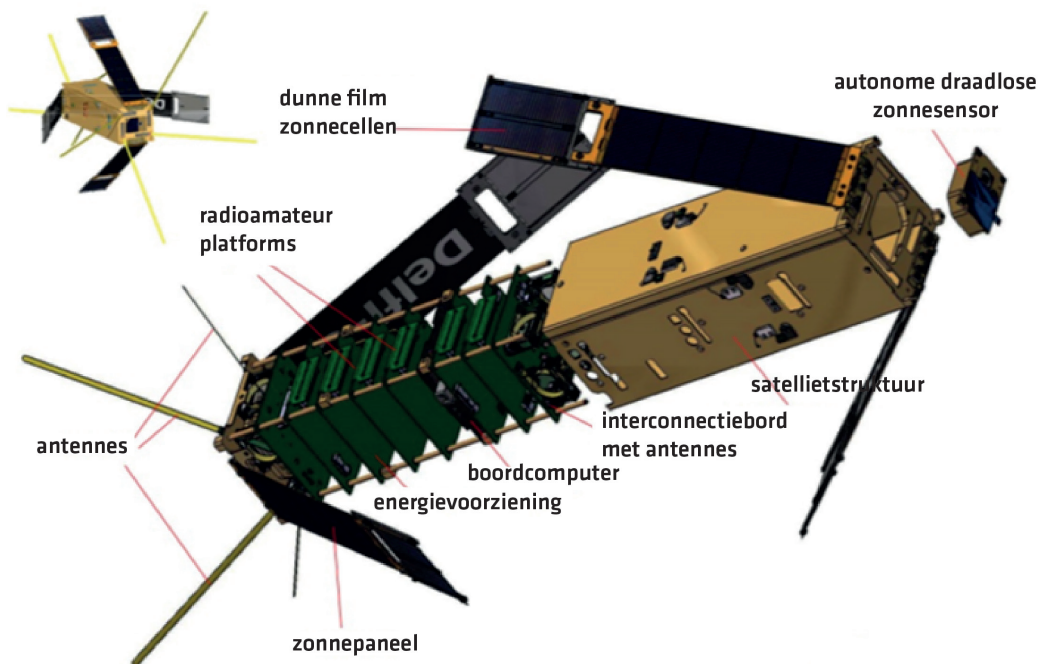
Teniendo en cuenta que el **estándar CubeSat** facilita la integración de los subsistemas de diferentes fabricantes con relativa facilidad, se tiene también la posibilidad de realizar innovaciones al disponer de una plataforma estándar que sirve de prueba (Rebollar, 2018). Este dispensador estándar recibe el nombre de P-POD® (Poly-Picosatellite Orbital Deployer o Dispensador orbital de múltiples Picosatélites), que se trata de una estructura con forma de paralelepípedo en aluminio completamente cerrada y aislada del lanzador (Tubio Pardavila, 2012, p. 61; Herrera Arroyave, 2015, p. 20). En la **Figura 12**, se presenta el esquema básico de integración de los subsistemas, y en la **Figura 13** la configuración del dispensador y el CubeSat.

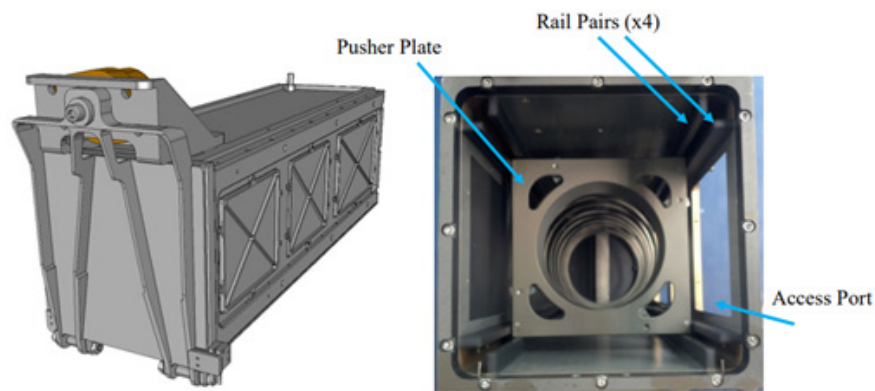
Figura 12. Subcomponente CubeSat



Fuente: Zosimovych (2020).

Figura 13. CubeSat y dispensador



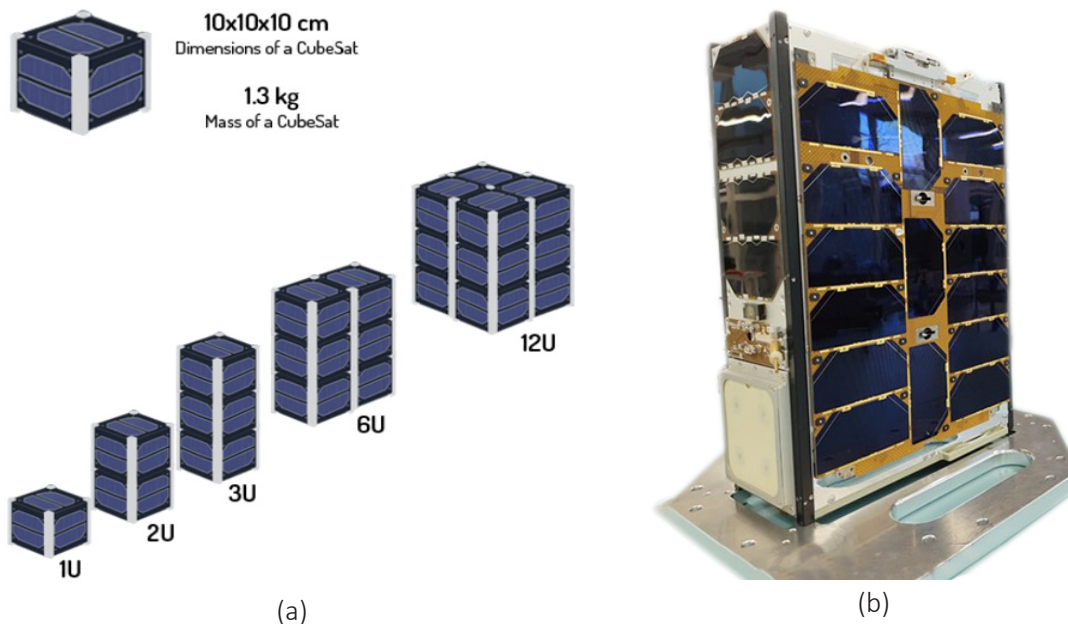


Fuente: Cubesat (2022).

El Servicio Ruso de Órbitas de Misiones Múltiples en junio de 2003 desde Plesetsk, Rusia, en un Eurokot, lanzó el primer grupo de CubeSats, para identificar ondas terrestres que pronosticaran terremotos con prelación a su manifestación (Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021, p. 12). En una órbita sincrónica con el Sol, fueron los daneses AAU CubeSat y DTUSat, los japoneses XI-IV y CUTE-1, los canadienses Can X-1 y el Quakesat de USA (Stanford y una pequeña empresa en Palo Alto llamada Quake Finder).

En la **Figura 14** se presentan las diferentes unidades modulares por tamaños del CubeSat (Alén.space, 2021), de acuerdo con la “Guía básica de nanosatélites”.

Figura 14. Configuración básica de CubeSat



Fuente: Alén.space (2021) y NASA (2017, p. 6).

En la **Figura 14 (a)**, se presenta la forma básica de un cube (1U) y su respectivo escalonamiento hasta llegar a 12U, mientras que en la **Figura 14 (b)** se presenta una imagen de la plataforma estándar 6U, la cual es la utilizada en la misión espacial **FACSAT-2**.

Debido a los desarrollos del CubeSat estándar, ahora se cuenta con un programa espacial para universidades, escuelas intermedias y primarias. Proceso que complementa el programa CubeSat -CDS, (Cubesat, 2022), con el desarrollado de una serie de especificaciones de diseño, dependiendo del tamaño, para el caso particular del proyecto se consultará la Especificación de Diseño de 6U CubeSat (revisión 1.0 - actualizada el 7 de junio de 2018).

El crecimiento de los lanzamientos de los CubeSat radica en que el avance de la tecnología permite hacer satélites cada vez más pequeños (miniaturización electrónica), lo cual implica una disminución de los costos y tiempos de desarrollo, otro elemento es el nivel de estandarización de las partes y elementos constitutivos (componentes comerciales de última generación - COTS), la variedad de las misiones que se pueden implementar, menor consumo de energía y riesgos, y para finalizar, su contención (cargas útiles) (Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021), (AEM, 2016), (AEM, 2019), (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017). Gracias a la configuración, forma, tamaño y componentes utilizados en la fabricación del nanosatélite una vez termina su misión, ingresa a la atmósfera y se desintegra (Alén.space, 2021).

Generalmente, el desarrollo de un satélite de tamaño medio o grande requiere entre 5 y 15 años para identificar la necesidad y colocarlo en órbita, mientras que una de las ventajas de los nanosatélites radica en que gracias a los estándares generados se puede desarrollar en un periodo aproximado de 12 meses, incluyendo la puesta en órbita. Adicionalmente, las constelaciones de nanosatélites proporcionan un sistema en el que los conceptos de obsolescencia (vida útil) ya no son un problema, y en algunos casos, se considera la disposición final del producto espacial en el diseño. Si las constelaciones de los nanosatélites se pueden renovar constantemente, mientras los avances tecnológicos aparecen. Esto garantiza que los dueños o propietarios puedan ofrecer servicios óptimos a nivel tecnológicos en todo momento (Alén.space, 2021).

Sin embargo, el desarrollo de los CubeSats presenta ciertas desventajas, debido al tamaño reducido, su sistema de carga de energía y combustible le permite tener una vida útil corta,



generalmente de máximo 5 años. De igual manera, el tamaño limita sus aplicaciones, ya que los equipos de exploración espacial, observación de la tierra y captación de fotones requiere sensores ópticos de mayor tamaño, que los ofrecidos o diseñados en los CubeSat (Superintendencia de Industria y Comercio, 2017, p. 11)

3.3.1 Aplicaciones de los CubeSat

Los CubeSats están revolucionando la industria espacial con aplicaciones diversas que impactan significativamente en varias áreas como la observación de la Tierra, el seguimiento global, la comunicación, la seguridad y la investigación científica. A continuación, se presentan algunas de las principales contribuciones de estos nanosatélites (Alén.space, 2021), (GOMspace, 2021) (ver **Tabla 41**).

Tabla 41. Aplicaciones y beneficios de los CubeSats

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	BENEFICIOS
<u>Observación de la Tierra</u>	Los CubeSats recopilan y analizan datos para gestionar recursos naturales y estudiar el impacto humano en la agricultura, los bosques, la geología y el medio ambiente.	Mejora las condiciones de vida mediante el uso de sensores ópticos, infrarrojos y hiperspectrales.
Seguimiento Global	Permiten rastrear activos críticos como embarcaciones marítimas, vehículos y aeronaves en todo el mundo, y se personalizan según necesidades específicas (ver Figura 15) (CCE, 2020, pág. 6).	Facilitan el seguimiento y desarrollo de productos, y mejoran la gestión logística y de seguridad.
Comunicación e IoT	Respaldan el desarrollo global del IoT, conectando áreas sin cobertura terrestre mediante infraestructuras espaciales.	Promueven la interconexión de objetos y redes sensorizadas, extendiendo la conectividad a regiones remotas.
Monitoreo de señales	Detectan y monitorean señales de radio emitidas desde la Tierra, proporcionando información crucial en situaciones de desastre.	Mejoran la planificación de rescate y respuesta en emergencias al identificar áreas afectadas y el impacto de desastres.
Aplicaciones Científicas	Utilizados en observación espacial, misiones interplanetarias, pruebas de sistemas en órbita e investigaciones biomédicas.	Fomentan el desarrollo de programas espaciales en países emergentes y amplían el conocimiento científico.
Defensa y Seguridad	Desempeñan un papel importante en la defensa y seguridad nacional, proporcionando soporte e información relevante.	Mejoran la toma de decisiones estratégicas y operativas en el ámbito de la seguridad nacional.

Fuente: Adaptado de Alén.space (2021); GOMspace (2021).

Los CubeSats ofrecen ventajas significativas, desde mejorar la gestión de recursos naturales y la conectividad global hasta proporcionar soporte crucial en situaciones de emergencia y defensa. Estas contribuciones no solo facilitan el desarrollo tecnológico, sino que también potencian la cooperación internacional y el avance científico, beneficiando tanto a países emergentes como a los más desarrollados (Alén.space, 2021), (GOMspace, 2021). En la **Figura 15** se aprecia de manera resumida la proyección de Colombia, a través de su Comisión Colombiana del Espacio (CCE).

Figura 15. Aplicaciones de la observación de la tierra según temática



Fuente: CCE (2020, p 6).

Los CubeSats tienen una extensa gama de aplicaciones que abarcan desde la observación de la Tierra y el seguimiento global hasta la comunicación, monitoreo de señales, investigaciones científicas y cuestiones relacionadas con la defensa y la seguridad. Estas pequeñas naves espaciales desempeñan un papel cada vez más importante en diversos campos, brindando beneficios tanto a nivel comercial como en la investigación y la seguridad.



3.4. LEGISLACIÓN DE INGENIERÍA ECSS DE LA ESA PARA PROYECTOS SATELITALES

En la **Tabla 42** se listan las normas de ingeniería para proyectos satelitales -ECSS, con base en la Agencia Espacial Europea – ESA. La referencia TEC-SY/128/2013/SPD/RW define los estándares personalizados para proyectos CubeSat, especificando si cada norma aplica en su totalidad y cuál es ajustada. Es de anotar que cada norma que no aplica en su totalidad se convierte en una pauta o guía de los contratistas en las actividades de ingeniería durante la ejecución del proyecto (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016).

Tabla 42. Estándares de ingeniería ECSS para proyectos satelitales

ESPECIFICACIÓN ECSS	TÍTULO	FECHA	APLICA
System Engineering			
ECSS-E-ST-10C	System engineering general requirements	6 Mar 2009	Guía
ECSS-E-ST-10-02C	Verification	6 Mar 2009	OK
ECSS-E-ST-10-03C	Testing	1 Jun 2012	OK
ECSS-E-ST-10-04C	Space environment	15 Nov 2008	OK
ECSS-E-ST-10-06C	Technical requirements specification	6 Mar 2009	Guía
ECSS-E-ST-10-09C	Reference coordinate system	31 jul 2009	Guía
ECSS-E-ST-10-11C	Human factors engineering	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-10-12C	Method for the calculation of radiation received and its effects, and a policy for design margins	15 Nov 2008	Guía
Electrical Engineering			
ECSS-E-ST-20C	Electrical and electronic	31 jul 2008	OK
ECSS-E-20-01A	Multipaction design and test	5 May 2003	Guía
ECSS-E-ST-20-06C	Spacecraft charging	31 Jul 2008	Guía
ECSS-E-ST-20-07C Rev. 1	Electromagnetic compatibility	7 Feb 2012	Guía
ECSS-E-ST-20-08C Rev. 1	Photovoltaic assemblies and components	18 Jul 2012	OK
Mechanical Engineering			
ECSS-E-ST-31C	Thermal control general requirements	15 Nov 2008	OK
ECSS-E-ST-32C Rev.1	Structural general requirements	15 Nov 2008	OK

ESPECIFICACIÓN ECSS	TÍTULO	FECHA	APLICA
ECSS-E-ST-32-01C Rev.1	Fracture control	6 Mar 2009	OK
ECSS-E-ST-32-02C Rev.1	Structural design and verification of pressurized hardware	15 Nov 2008	OK
ECSS-E-ST-32-03C	Structural finite element models	31 Jul 2008	Guía
ECSS-E-ST-32-08C	Materials	31 Jul 2008	OK
ECSS-E-ST-32-10C Rev.1	Structural factors of safety for	6 Marz 2009	Guía
ECSS-E-ST-32-11C	Modal survey assessment	31 Jul 2008	Guía
ECSS-E-ST-33-01C	Mechanisms	6 Mar 2009	OK
ECSS-E-ST-33-11C	Explosive systems and devices	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-34C	Environmental control and life support (ECLS)	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-35C Rev.1	Propulsion general requirements	6 Mar 2009	Guía
ECSS-E-ST-35-01C	Liquid and electric propulsion for spacecraft	15 Nov 2008	OK
ECSS-E-ST-35-02C	Solid propulsion for spacecrafts and launchers	8 Oct 2010	NA
ECSS-E-ST-35-03C	Liquid propulsion for launchers	10 May 2011	NA
ECSS-E-ST-35-06C	Cleanliness requirements for	31 Jul 2008	Guía
ECSS-E-ST-35-10C	Compatibility testing for liquid propulsion systems	6 Mar 2009	NA
PSS-03-401	Atmosphere Quality Standards in	Jun 1992	NA
PSS-03-402	Water Quality Standards in Manned Space Vehicles	Oct 1994	NA
Software Engineering			
ECSS-E-ST-40C	Software	6 Mar 2009	Guía
Communications Engineering			
ECSS-E-ST-50C	Communications	31 Jul 2008	OK
ECSS-E-ST-50-01C	Space data links - Telemetry synchronization and channel coding	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-50-02C	Ranging and Doppler tracking	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-50-03C	Space data links - Telemetry transfer frame protocol	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-50-04C	Space data links - Telecommand protocols, synchronization and channel coding	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-50-05C Rev.2	Radio frequency and modulation	4 Oct 2011	OK
ECSS-E-ST-50-12C	SpaceWire - Links, nodes, routers and networks	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-50-13C	Interface and communication protocol for MIL-STD-1553B data bus onboard spacecraft	15 Nov 2008	NA



ESPECIFICACIÓN ECSS	TÍTULO	FECHA	APLICA
MIL1553-B-Notice 2	Digital Time Division Command/ Response Multiplex Data Bus	8 Sept 1986	NA
ECSS-E-ST-50-14C	Spacecraft discrete interfaces	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-50-51C	SpaceWire protocol identification	5 Feb 2010	NA
ECSS-E-ST-50-52C	SpaceWire - Remote memory access protocol	5 Feb 2010	NA
ECSS-E-ST-50-53C	SpaceWire - CCSDS packet transfer protocol	5 Feb 2010	NA
CCSDS 121.0-B-1	Lossless Data Compression	May 1997	NA
CCSDS 122.0-B-1	Image Data Compression	Nov 2005	NA
CCSDS 133.0-B-1	Space Packet Protocol	Sept 2003	NA
CCSDS 133.1-B-2	Encapsulation Service	Oct 2009	NA
CCSDS 135.0-B-4	Space Link Identifiers	Oct 2009	NA
CCSDS 211.0-B-4	Proximity-1 Space Link Protocol - Data Link Layer	Jul 2006	NA
CCSDS 211.1-B-3	Proximity-1 Space Link Protocol - Physical Layer	Marz 2006	NA
CCSDS 211.2-B-1	Proximity-1 Space Link Protocol - Coding and Syn-chronization Sublayer	Abril 2003	NA
CCSDS 301.0-B-4	Time Code Formats	Nov 2010	NA
CCSDS 320.0-B-5	CCSDS Global Spacecraft Identification Field Code Assignment Control Procedures	Sept 2007	NA
Recommendation 2.5.6B of CCSDS401.0-B-20	Radio Frequency & Modulation Systems Recommendation on Differential One-Way Ranging For Space-To Earth Links In Angular Spacecraft Position Determination, Category B	Abril 2009	NA
CCSDS 414.1-B-1	Pseudo-Noise (PN) Ranging Systems	Mar 2009	NA
CCSDS 727.0-B-4	File Delivery Protocol (CFDP)	Jun 2007	NA
CCSDS 732.0-B-2.	AOS Space Data Link Protocol	Jul 2006	NA
ISO 11898-1	CAN Data Link Layer and Physical Signalling	2003 / Cor 1: 2006	NA
ISO 11898-2	CAN High-Speed Medium Access Unit	2003	NA
IPv4	J. Postel. Internet Protocol STD 5 [RFC 791, RFC 950, RFC 919, RFC 922, RFC 792, RFC 1112]	Sept 1981	NA
ESSB-ST-E-006 Issue 1	ESA Procedural Requirements for Frequency Assignment	20 Jul 2011	NA
Control Engineering			
ECSS-E-60A	Control engineering	14 Sept 2004	Guía
ECSS-E-ST-60-10C	Control performance	15 Nov 2008	Guía
ECSS-E-ST-60-20C Rev.1	Star sensor terminology and performance specification	15 Nov 2008	Guía

ESPECIFICACIÓN ECSS	TÍTULO	FECHA	APLICA
ECSS-E-ST-60-30C	Satellite attitude and orbit control system (AOCS) requirements	30 Ago 2013	OK
Ground System And Operation Engineering			
CCSDS 502.0-B-2	Orbit Data Messages	Nov 2009	NA
CCSDS 503.0-B-1	Tracking data message	Nov 2007	NA
CCSDS 504.0-B-1	Attitude data message	May 2008	NA
CCSDS 505.0-B-1	XML Specification for Navigation Data Messages	Dic 2010	NA
CCSDS 910.11-B-1	Space Communication Cross Support - Service Management -Service Specification	Ago 2009	NA
CCSDS 911.1-B-3	Space Link Extension - Return all frames service specification	Ene 2010	NA
CCSDS 911.2-B-2	Space Link Extension - Return Channel Frames Service Specification	Ene 2010	NA
CCSDS 911.5-B-2	Space Link Extension - Return Operational Control Fields Service Specification	Ene 2010	NA
CCSDS 912.1-B-3	Space Link Extension - Forward CLTU service specification	Jul 2010	NA
CCSDS 912.3-B-2	Space Link Extension - Forward Space Packet Service Specification	Jul 2010	NA
ECSS-E-ST-70C	Ground systems and operations	31 Jul 2008	Guía
ECSS-E-ST-70-01C	On-board control procedures	16 Abril 2010	NA
ECSS-E-ST-70-11C	Space segment operability	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-70-31C	Ground systems and operations - Monitoring and control data definition	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-ST-70-32C	Test and operations procedure	31 Jul 2008	NA
ECSS-E-70-41A	Telemetry and telecommand packet utilization	31 ene 2003	NA

Fuente: Adaptado de ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW (2016).

Con base en la **Tabla 43**, la Agencia Espacial Europea – ESA, a través del Programa “**Predesarrollo de tecnología CubeSat**” (G547-009SG), en la **Tabla 14** se listan las 15 normas aplicables como estándares de ingeniería ECSS personalizados para los proyectos CubeSat de demostración en órbita, (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016).

**Tabla 43.** Estándares de ingeniería ECSS para proyectos de CubeSat

Nº	ESPECIFICACIÓN ECSS-E-ST	REFERENCIA	EXCEPCIONES -PÁGINAS-
1.	10-02C	Verification	13-14
2.	10-03C	Testing	14-21
3.	10-04C	Space environment	21-22
4.	20C	Electrical and electronic	23-25
5.	20-08C	Rev.1 Photovoltaic assemblies and components	25-27
6.	31C	Thermal control general requirements	27-29
7.	32C Rev.1	Structural general requirements	29-32
8.	32-01C Rev.1	Fracture control	32-33
9.	32-02C	Rev.1 Structural design and verification of pressurised hardware	33
10.	32-08C	Materials	33-34
11.	33-01C	Mechanisms	34-35
12.	35-01C	Liquid and electric propulsion for spacecraft	35-38
13.	50C	Communications	39-42
14.	50-05C	Radiofrequency and modulation	42
15.	60-30C	Satellite attitude and orbit control system (AOCS) requirements	43-44

Fuente: Adaptado de ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW (2016).

Es de anotar, que las normas seleccionadas poseen una personalización específica ajustada a cada sección, es decir, que se define cuanto de cada sección y de qué manera aplica o requiere algún ajuste, para los proyectos CubeSat (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016).

Por otro lado, en la **Tabla 44**, se listan las 17 normas de ingeniería ECSS para proyectos CubeSat, que emplearan los contratistas como guía en las actividades de ingeniería, durante la ejecución del proyecto (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016).

Tabla 44. Guía estándar ECSS de apoyo a actividades de proyectos satelitales

NO	ESPECIFICACIÓN ECSS-E	TÍTULO
1.	ST-10C	System engineering general requirements
2.	ST-10-06C	Technical requirements specification
3.	ST-10-09C	Reference coordinate system
4.	ST-10-12C	Method for the calculation of radiation received and its effects, and a policy for design margins
5.	20-01A	Multipaction design and test
6.	ST-20-06C	Spacecraft charging
7.	ST-20-07C Rev.1	Electromagnetic compatibility
8.	ST-32-03C	Structural finite element models
9.	ST-32-10C Rev.1	Structural factors of safety for
10.	ST-32-11C	Modal survey assessment
11.	ST-35C Rev.1	Propulsion general requirements
12.	ST-35-06C	Cleanliness requirements for
13.	ST-40C	Software
14.	60A	Control engineering
15.	ST-60-10C	Control performance
16.	ST-60-20C Rev.1	Star sensor terminology and performance specification
17.	ST-70C	Ground systems and operations

Fuente: Adaptado de ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW (2016).

3.5 INGENIERÍA DE SISTEMAS APLICADOS A LOS CUBESAT

En la actualidad, el concepto de SE (Systems Engineering) no está definido, establecido ni aceptado, a pesar de que existen actividades y prácticas consideradas elementos pertenecientes a los Sistemas de Ingeniería –SI – por la mayoría de los ingenieros (Elm, Goldenson, El Emam, Donatelli, & Neisa, 2008). La norma IEEE P1220 (1994), lo establece como un proceso que transforma un requisito en una solución de un sistema desde la interdisciplinariedad de un esfuerzo técnico.

JAXA (2013) realizó un estudio de la generación de un sistema espacial (satélite de ensayos ingenieriles de la próxima generación, satélites de radar avanzado y programa innovador



de demostración de tecnología satelital), apoyando la teoría expuesta por (Firesmith, 2009), quien afirma que existen los Sistemas de Ingeniería (SOS, de sus siglas en inglés), los cuales presentan comportamientos y características emergentes inesperados, con características ultra largas y complejas, altamente flexibles, dinámicamente evolutivas, tecnológicamente ambiciosas y geográficamente distribuidas, con sistemas preexistentes heterogéneos autónomos, contenidos en sí mismos y gobernados de manera independiente (Adquiridos, desarrollados, operados, programados y financiados).

Diversas iniciativas surgen con el propósito de estandarizar los procesos de diseño en proyectos espaciales, ya sean llevados a cabo por agencias espaciales, nacionales o internacionales, o por corporaciones espaciales. Estos estándares de ingeniería de sistemas se caracterizan por su enfoque interdisciplinario, complejidad y los recursos financieros que demandan. Según Tubio Pardavila (2012), algunas de las iniciativas más notables que buscan definir y estandarizar los procesos de diseño en la ingeniería de sistemas aplicada a proyectos espaciales son:

- **Estándar UML (Unified Modelling Language o Lenguaje de Modelado Unificado):** Surgió a finales de los años 90 como un desarrollo propio de la empresa Rationale y fue adoptado por el grupo OMG (Object Management Group o Grupo de Gestión de Objetos). Su principal objetivo es establecer una serie de diagramas normalizados que faciliten la descripción de los procesos de especificación, diseño, implementación y distribución de aplicaciones de software.
- **Organización INCOSE (International Council On Systems Engineering o Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas):** Fundada en los Estados Unidos en 1990, esta organización reunió a profesionales de la industria con el propósito de estandarizar el proceso de diseño de sistemas complejos. INCOSE desarrolló el estándar SysML, basado en UML, para extender los diagramas de diseño de software a sistemas complejos. Esto representó un enfoque hacia una metodología basada en la descripción gráfica del diseño de sistemas (INCOSE, 2015).
- **Organización ECSS (European Cooperation for Space Standardization o Cooperación Europea para la Estandarización Espacial):** Los estándares de ECSS son utilizados en la industria espacial europea con el respaldo de la ESA (Agencia Espacial Europea), con el fin de mejorar la competitividad de su industria, al definir normativas y procesos comunes para el diseño y la fabricación de sistemas espaciales (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009).

- **NASA (National Aeronautics and Space Administration o Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio):** La NASA también tiene sus propios estándares para normalizar el proceso de diseño de sistemas espaciales complejos (NASA, 2007).
- **ISO (International Standards Organization u Organización Internacional de Estándares):** El comité técnico TC20 de la ISO se dedica a la estandarización de los procesos de ingeniería en sistemas espaciales.

Estas iniciativas y organizaciones han contribuido a la creación de normativas y procesos estandarizados que son fundamentales en la ingeniería de sistemas aplicada a proyectos espaciales, facilitando la colaboración y garantizando la calidad y seguridad en la realización de misiones y proyectos espaciales.

A nivel internacional, varias organizaciones establecen definiciones clave en el campo de la ingeniería de sistemas aplicada a la industria espacial, según lo señalado por Cappelletti, Battistini, & Malphrus 82021, p. 18).

- **Manual de Ingeniería de Sistemas de INCOSE:** INCOSE (International Council on Systems Engineering o Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas) promueve un enfoque interdisciplinario y un medio que facilite la creación de sistemas exitosos. En este contexto, los sistemas exitosos se caracterizan por satisfacer las necesidades de sus clientes, usuarios y otras partes interesadas (INCOSE, 2015).
- **Manual de Ingeniería de Sistemas de la NASA:** La NASA (National Aeronautics and Space Administration o Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) se basa en un enfoque metódico y multidisciplinario para abordar el diseño, la realización, la gestión técnica, las operaciones y la retirada de un sistema. En esta perspectiva, un sistema se define como la combinación de elementos que funcionan de manera conjunta para proporcionar la capacidad necesaria para satisfacer una necesidad. Estos elementos engloban hardware, software, equipamiento, instalaciones, personal, procesos y procedimientos necesarios para cumplir con dicho propósito (NASA, 2007).
- **ESA ECSS E-10 Parte 1B, desde 2009 ECSS-E-ST-10C:** La ESA (European Space Agency o Agencia Espacial Europea) adopta un enfoque interdisciplinario que regula el esfuerzo técnico global destinado a transformar un requisito en una solución de sistema (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009).



- **James R. Wertz:** enfatiza la definición de parámetros y el cumplimiento de requisitos de la misión en el menor tiempo posible, con bajo riesgo y al costo más reducido (Wertz & Larson, 2007).

Estas definiciones proporcionan bases sólidas y estándares comunes en el campo de la ingeniería de sistemas espaciales, lo que es esencial para la cooperación y el éxito en proyectos y misiones espaciales a nivel internacional.

Para el caso particular de la ingeniería de sistemas para el desarrollo de productos y sistemas espaciales, la Cooperación Europea para la estandarización del espacio (ECSS) en el año 2009 reformuló el estándar ESA ECSS E-10 Parte 1B y lo sustituyó por (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009). Requisitos generales de ingeniería del sistema (6 de marzo de 2009). Este es el estándar que se utilizará como referencia teniendo en cuenta que GOMspace lo toma como punto de partida para el desarrollo de los proyectos espaciales.

Para Cappelletti, Battistini, & Malphrus (2021, p. 18) la ingeniería de sistemas es la gestión técnica del diseño y desarrollo de productos. Para el desarrollo de un sistema o producto espacial es necesario considerar una metodología que permite identificar cada uno de los sistemas que lo componen, sus interacciones y los límites correspondientes.

Existen estándares específicos creados por la NASA y la ESA, así: Manual de ingeniería de sistemas de la NASA y se puede acceder a él, a través del Servicio de información de directivas en línea de la NASA; y el caso de la ESA, Estándar de Ingeniería E-ST-10, creado por la ECSS¹².

Según Shiotani (2018) indica que el ciclo de vida de un proyecto para el desarrollo de productos y sistemas espaciales está compuesto por seis fases, desde la fase I a la V, donde la primera se denomina Prefase I que es el espacio que permite a los participantes del proyecto conocer sobre la ingeniería de sistemas; en la Fase I se identifica el concepto de la misión y se realiza un diseño preliminar. En la Fase II se madura el proyecto a un diseño detallado, en la Fase III se aborda el desarrollo, la integración y las pruebas de los componentes y subsistemas, en la Fase IV se aborda el ensamble y la integración de

12 Cooperación Europea para la Normalización del Espacio (ECSS). Fundada en 1993 por la ESA para crear un conjunto coherente y único de normas espaciales para las actividades espaciales europeas. Requieren que el usuario final los adapte de acuerdo con sus necesidades y son utilizados activamente por muchos países fuera de las fronteras de América del Norte y Europa.

los sistemas, las pruebas ambientales y la preparación del lanzamiento. Por último, la Fase V que aborda las actividades posteriores al lanzamiento, operación hasta su retiro y disposición conforme a las normatividades vigentes.

Conforme a K. Forsberg, H. Mooz y H. Cotterman (2005) citados por Shiotani (2018), diversos modelos de procesos de ingeniería de sistemas han sido desarrollados, cada uno con enfoques específicos de implementación. Los modelos más comunes incluyen:

- **Modelo Cascada (1970):** Un enfoque secuencial en el que cada fase debe completarse antes de avanzar a la siguiente. Es un modelo lineal que fluye de manera descendente, lo que significa que no se puede regresar a etapas anteriores.
- **Modelo Espiral (1986):** Este modelo incorpora elementos de desarrollo iterativo y progresivo. Se enfoca en la gestión de riesgos y permite la repetición de ciclos para refinar y mejorar el sistema.
- **Modelo V:** Este modelo visualiza el desarrollo del sistema como una “V”. La parte izquierda de la “V” representa las actividades de diseño, mientras que la parte derecha representa las actividades de prueba y verificación (Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021).
- **Modelo W:** Aunque no se proporciona información específica sobre el Modelo W, es posible que sea un enfoque de desarrollo de sistemas con características distintivas que no están detalladas en la fuente.
- **Sistema de Ingeniería de la NASA (2007):** El modelo de la NASA se centra en el desarrollo de sistemas complejos y su operación. Proporciona directrices para garantizar que los sistemas cumplan con los requisitos y sean seguros y confiables (NASA, 2007).
- **Modelo INCOSE (2011):** Este modelo, desarrollado por la International Council on Systems Engineering (INCOSE), se enfoca en la práctica de la ingeniería de sistemas y proporciona un marco para desarrollar sistemas de alta calidad (INCOSE, 2015).
- **Modelo de la Agencia ESA (2009):** La Agencia Espacial Europea (ESA) desarrolló su propio modelo de ingeniería de sistemas, que se ajusta a las necesidades específicas de proyectos espaciales en Europa (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009).

Estos modelos ofrecen enfoques diversos para abordar la ingeniería de sistemas y se aplican según las necesidades y características de proyectos específicos. La elección del modelo adecuado depende de factores como el tipo de sistema, los requisitos y los recursos disponibles.

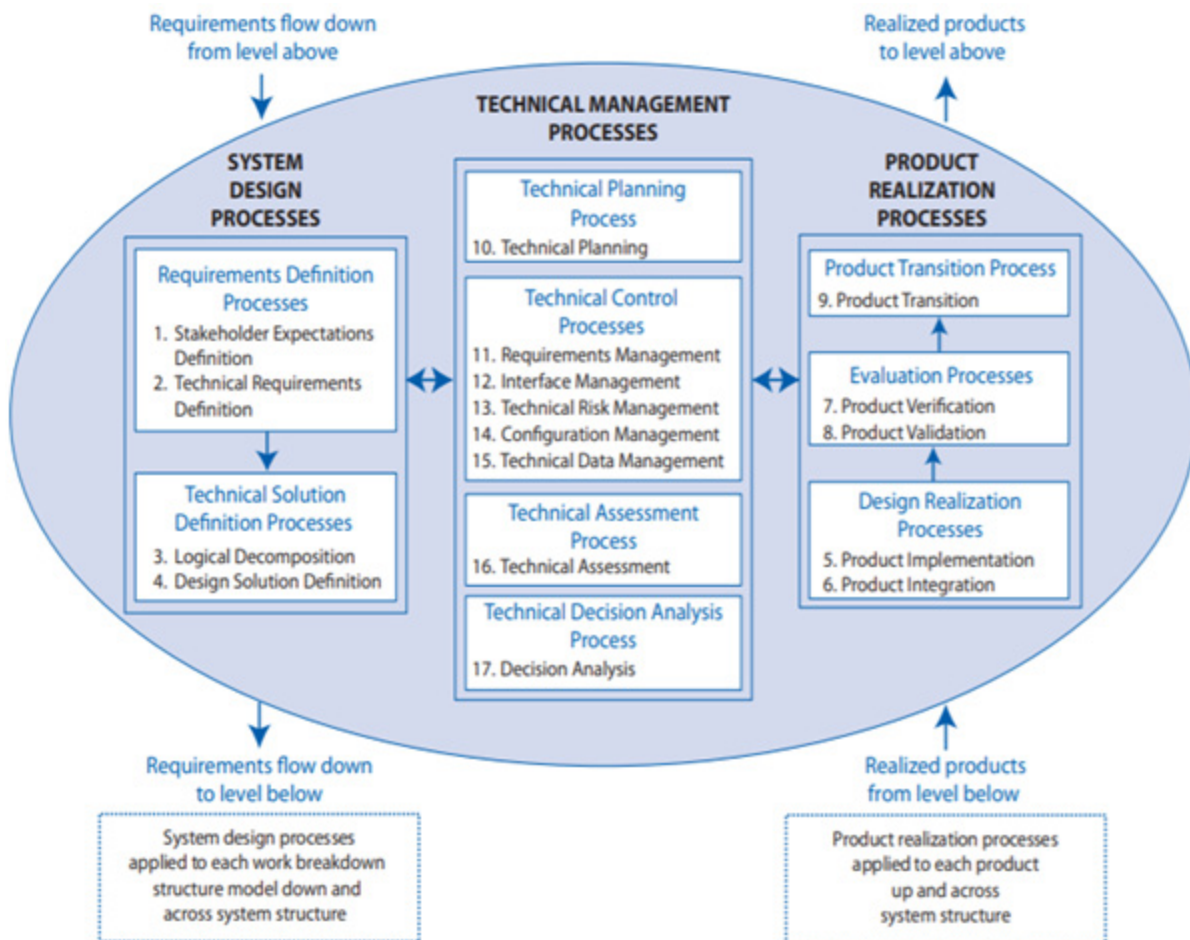


Tomando como punto de partida estos modelos, en la siguiente sección del documento se profundizará en la dinámica y características de los más importantes considerados en el proyecto.

3.5.1 Ingeniería de Sistemas NASA

La NASA desarrolló el Estándar NPR 7123.1C denominado “**Procesos y requisitos de ingeniería de sistemas de la NASA**” del 14 de febrero del 2020, el cual identifica tres conjuntos de procesos técnicos comunes al desarrollo de productos y sistemas espaciales: Diseño del sistema, realización del producto y gestión técnica. En la **Figura 16**, se presentan las diferencias esquemáticas de los estándares referenciados.

Figura 16. Ingeniería de Sistemas NASA

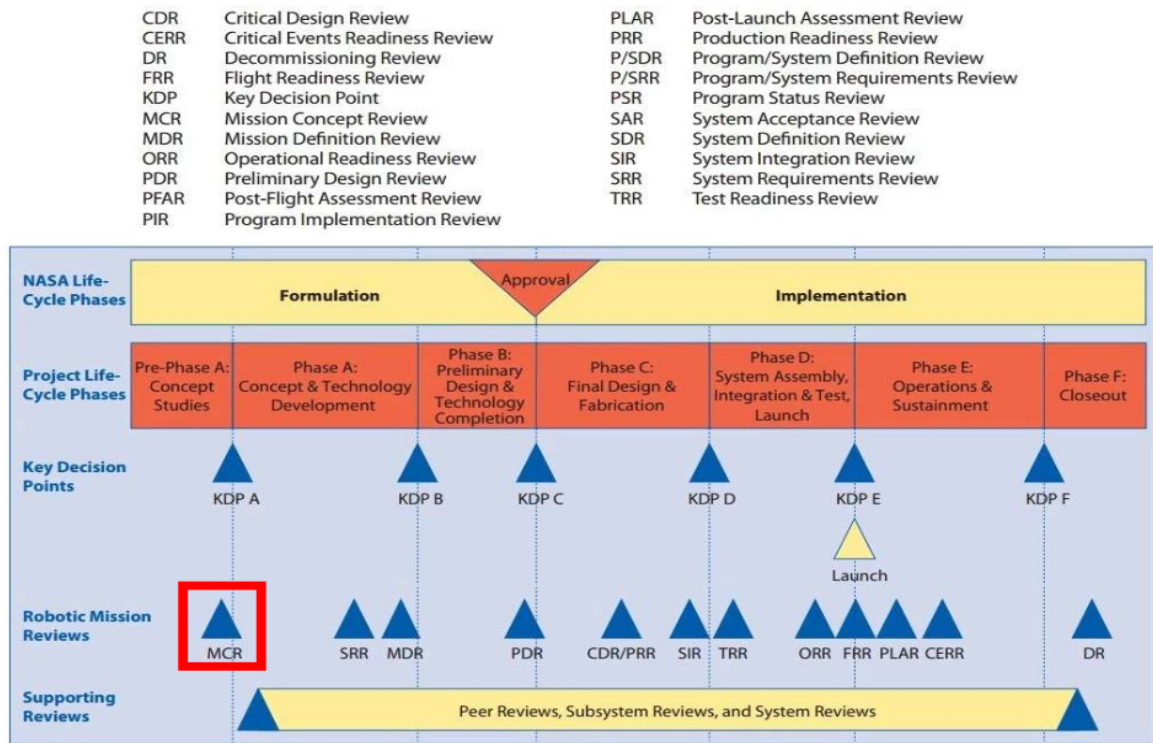


Fuente: NASA (2007).

El Estándar de la NASA se divide en tres (3) procesos claramente establecidos por niveles, los cuales se interrelacionan entre sí.

- **Proceso de Diseño de Sistemas:** Está compuesto por la definición de requerimientos técnicos, como de las necesidades de las partes interesadas; y la definición de soluciones técnicas, con la descomposición lógica y la definición de diseño de soluciones. Estos procesos se aplican para el desarrollo de cada producto que hace parte del sistema, desde la parte superior a la inferior hasta llegar al punto de construcción, compra o reutilización.
- **Proceso de Administración Técnica:** Se compone de cuatro procesos técnicos: La planeación técnica; el control técnico, que esta identifica la administración de los requerimientos, de las interfaces, de los riesgos técnicos, de configuración y datos técnicos; la evaluación técnica. Se aplican a cada uno de los elementos constitutivos de la estructura de la misión, iniciando desde el nivel más bajo hasta la integración en los niveles superiores.
- **Proceso de realización de producto:** (análisis de decisiones) que se subdivide en Procesos de productos de transición, evaluación de procesos y la realización del diseño, que implica la implementación del producto y su integración. Permite establecer y desarrollar los planes técnicos para el proyecto, para gestionar la comunicación a través de interfaces, para evaluar el progreso con respecto a los planes y requisitos para los productos o servicios del sistema (NASA, 2019).

Shiotani (2018, p. 51) define el estándar NASA para el ciclo de vida del proyecto, el cual se desarrolla en siete (7) fases linealmente identificadas, las cuales se agrupan en dos etapas: la formulación y la implementación (ver **Figura 17**).

**Figura 17. Ciclo de vida de proyecto NASA****Figure 3.0-2 NASA project life cycle**

Fuente: NASA (2007).

La etapa de formulación se relaciona con la planificación del nuevo proyecto e incluye el análisis necesario para su formulación. Esta etapa comienza con la Prefase A, que implica la determinación de la misión, la elaboración de un borrador de requisitos del sistema y su evaluación. El producto de esta primera fase es la revisión del concepto de la misión (MCR). A continuación, se procede a la Fase A, que abarca el desarrollo conceptual y tecnológico. Durante esta fase, se determina un concepto final de misión, se establece el nivel del sistema y se definen conceptos preliminares de operación (CONOPS). El producto final de esta segunda fase es la Definición de la Misión (MDR).

La tercera etapa corresponde a la Fase B, en la que se avanza en el diseño preliminar y se completa la tecnología necesaria. Los diseños se vuelven más maduros, y se desarrolla el software preliminar, junto con su respectiva simulación y análisis. El producto final de esta etapa es la Revisión Preliminar del Diseño (PDR). Posteriormente, se pasa a la Fase C, que se relaciona con el diseño final del sistema y el inicio de la fabricación,

así como el desarrollo del software de vuelo temprano. En esta etapa, se adquieren el hardware y el software necesarios. El producto final de esta etapa es la Revisión del Diseño Crítico (CDR).

La siguiente etapa es la Fase D, que abarca el montaje, integración, verificación y validación, incluyendo pruebas ambientales. Durante esta fase, los sistemas se preparan para ser puestos en órbita y entrar en servicio. Se considera que un vuelo es válido si el sistema está listo para funcionar y se encuentra en condiciones de ser entregado al proveedor para su lanzamiento.

Después de un lanzamiento exitoso, la Fase E implica llevar a cabo las actividades necesarias para la operación de la misión. En esta etapa, se realiza una evaluación posterior al lanzamiento (PLAR) con el propósito de evaluar y validar el sistema en relación con su objetivo y su operación. Finalmente, después de la operación y una vez concluida la misión, se implementa un plan de eliminación y desmantelamiento del sistema. El producto final de esta etapa es la Revisión de Disposición (DR), que indica cómo se llevará a cabo y ejecutará la puesta fuera de servicio del satélite.

3.5.2 Ingeniería de Sistemas ESA

El proceso de estandarización para el desarrollo de sistemas y productos espaciales se basa en la organización del trabajo a lo largo de las diferentes fases de planificación del proyecto. Cada fase tiene objetivos definidos, y estos objetivos son gestionados por equipos de trabajo específicos. Estos equipos también definen la documentación del sistema y los entregables físicos necesarios en cada fase del proyecto (Tubio Pardavila, 2012, p. 42).

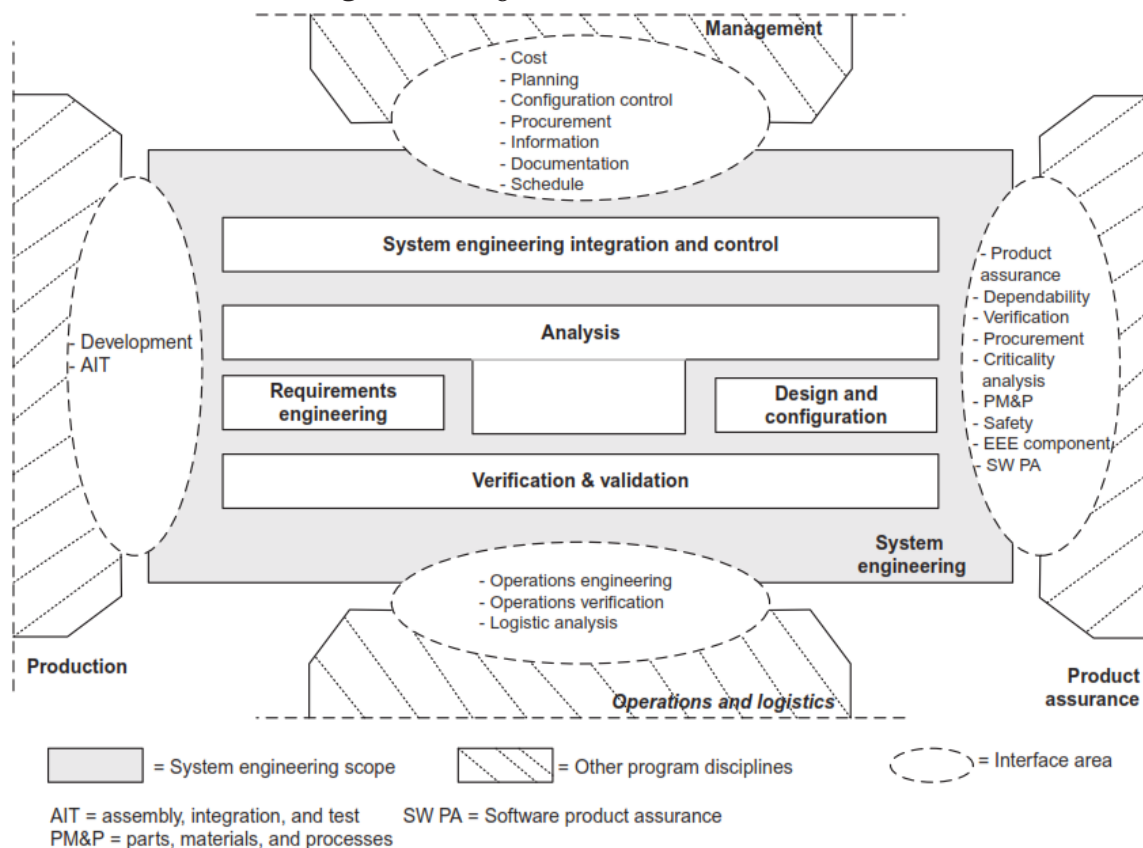
En términos generales, el estándar de la ESA abarca desde los requisitos de ingeniería hasta el diseño y configuración del producto espacial. Considera de manera transversal la integración y el control de los sistemas de ingeniería, el análisis, la verificación y validación, aspectos que se consideran constantemente a lo largo del desarrollo del proyecto. Además, el estándar incluye un control transversal de la administración del proyecto, que abarca áreas como costos, planificación, control, compras, información, documentación y programación, así como ensambles, integración y pruebas. También se enfoca en operaciones de ingeniería y logística para garantizar aspectos como la fiabilidad, comprobación, criticidad, análisis, partes y componentes, y seguridad.



Tanto los estándares de la NASA como los de la ESA presentan procesos, etapas y fases que se entrelazan a lo largo del desarrollo de un producto espacial. Detallan la interrelación de cada una de estas etapas y fases y cuentan con un sistema de gestión documental complejo que asegura el acceso y uso de información precisa y actualizada en cada etapa o fase. A nivel internacional, el sistema de gestión documental más utilizado es la ingeniería de sistemas basada en modelos (MBSE). Esta es una aplicación formal de la estructura de diseño que soporta los requisitos del sistema, el diseño, el análisis, y la verificación, y comprobación del sistema. Inicia en la etapa de diseño conceptual y se extiende a lo largo de las fases subsiguientes del ciclo de vida (INCOSE, 2015).

La elección del estándar a emplear dependerá del país o continente en el que se desarrolle el proyecto espacial. Si el proyecto se lleva a cabo en Europa, se utilizará el estándar de la ESA, mientras que, si el proyecto se desarrolla en Estados Unidos, se seguirán las normas de la NASA (ver **Figura 18**).

Figura 18. Ingeniería de Sistemas ESA



Fuente: ECSS (2017, p. 17).

Para la ESA, el ciclo de vida de proyectos tiene siete (7) fases, comenzando en la fase 0 a la F. Estas fases se agrupan en tres etapas: las tres primeras fases 0, A y B, se denominan Preparatorias, y se centran en la elaboración de los requisitos técnicos y funcionales del sistema, la identificación de las actividades y tareas para desarrollar los segmentos de espacio y terreno; y las evaluaciones de riesgos técnicos y programáticos iniciales (Shiotani, 2018, p. 54).

La segunda etapa es la de Desarrollo, la cual agrupa las fases C y D, donde se desarrollan las actividades para desarrollar el espacio y los sistemas de tierra y sus productos. La tercera etapa se relaciona con la operación del sistema, la cual agrupa la etapa E, que como se indica comprende todas las actividades para operar, utilizar y mantener los productos entregables, y la última etapa comprende la fase F que corresponde a la eliminación de todos los sistemas espaciales y terrestres (Shiotani, 2018, p. 54).

En la **Figura 19**, se presenta el esquema de las fases de los proyectos y productos espaciales, los cuales se agrupan en una estructura que denomina la Arquitectura del SI, correspondiente a la organización de componentes mayores, donde emplea su relación y sus funciones mancomunadas para lograr los requisitos, guiando el diseño y evolución del mismo. Aunque dicha estructura comprende una secuencia lógica, constantemente se requiere ajustar la estructura del SI a cada caso, denominada diseño de SI, y esto permitirá la escalabilidad (Firesmith, 2009; Rodríguez A., 2019).

Figura 19. Ciclo de vida de un proyecto ESA



Fuente: Adaptado de Ortega (2009) con base en ECSS-E-10.



De acuerdo con Tubio Pardavila (2012, p. 39):

- **Fase 0, identificación de necesidades.** Se caracteriza y define la misión y el producto final a alto nivel, siendo esta definición parte del estamento inicial de la misión. Las tareas de esta fase son asumidas por los iniciadores del proyecto, representantes de los usuarios finales potenciales y por el cliente principal. Las principales reuniones que se llevan a cabo durante esta fase son:
 - KOM (Kick-Off Meeting), encuentro de inicio para arrancar al proyecto a la que asisten el proveedor y el cliente de nivel de sistema, representantes de usuarios finales potenciales y asesores. Empleada en el sector, aunque no es “obligatoria” en ECSS.
 - MDR (Mission Definition Review), reunión que se lleva a cabo al final de fase 0 para cerrar la definición de la misión que el cliente quiere realizar.
- **Fase A, viabilidad.** Se examina la viabilidad de un diseño preliminar del sistema propuesto para llevar a cabo la misión definida en la fase anterior. El peso de la carga de trabajo a lo largo de esta fase recae, principalmente, en el contratista principal del sistema y los proveedores de nivel de sistema. Al finalizar esta fase, debe cerrarse un diseño conceptual que sea viable.
 - PRR (Preliminary Requirements Review) reunión que se lleva a cabo entre el cliente y el proveedor de nivel de sistema. Su objetivo es establecer una definición preliminar del sistema sobre la que se pueda continuar trabajando.
- **Fase B, definición preliminar.** El principal objetivo de esta fase es desarrollar, sobre el diseño conceptual viable resultante de la fase anterior, un diseño preliminar implementable del sistema sugerido. Por lo tanto, en esta fase se involucrarán no solamente a los proveedores/clientes de nivel de sistema, sino también ya los proveedores de todos los niveles necesarios para el desarrollo final. Al finalizar esta fase, debe existir un diseño implementable del concepto viable del sistema, planificado y con un coste asociado determinado.
 - SRR (System Requirements Review), una revisión del diseño, en la cual se establecen las especificaciones técnicas del sistema sobre las que se podrán ir elaborando el resto de especificaciones de nivel menor.
 - PDR (Preliminary Design Review), en la cual se lleva a cabo una comprobación más profunda del diseño preliminar sugerido y del concepto de misión que este implementa. Durante esta comprobación, se definen todas las estructuras

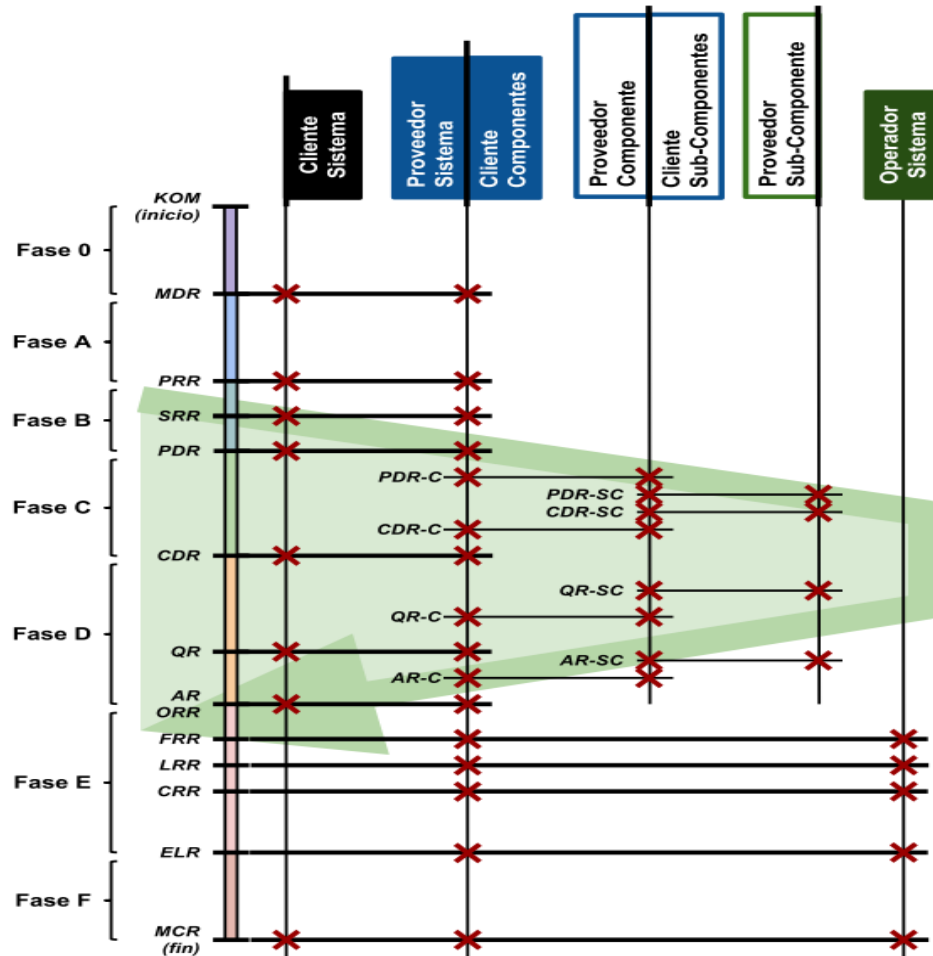
organizativas para la gestión del proyecto que se necesitan y se publica el plan de calificación preliminar.

- **Fase C, definición detallada.** El diseño preliminar que se estableció como resultado de la fase anterior debe terminar de definirse completamente en esta fase; en otras palabras, para cada elemento de configuración a lo largo de toda la cadena de clientes y proveedores identificada, deben quedar completamente definidos su especificación de requisitos e interfaces. Este objetivo puede conllevar la realización de los test que sean necesarios para validar la definición del sistema a ciertos niveles. Por lo tanto, a lo largo de esta fase, todos los equipos de trabajo a lo largo de la cadena de clientes y proveedores, estarán involucrados.
 - CDR (Critical Design Review), una verificación cuyo objetivo es finalizar la definición de un diseño detallado del sistema, que pueda ser implementado con cierto nivel de garantías. Durante esta verificación, se debe determinar cuál es el grado de calificación alcanzado por el diseño propuesto y si este permite empezar la fase siguiente del proyecto o no. Como resultado de la misma, se publicarán los procedimientos de producción, ensamblaje y test para el modelo final.
- **Fase D, calificación y producción.** A lo largo de esta fase, se llevarán a cabo las tareas relacionadas con la producción y calificación del producto final entregable. Dentro de estas tareas, destacan la realización de los test de interoperabilidad y compatibilidad de los segmentos de Tierra y Espacio y la preparación de la documentación entregable sobre el estado de calificación final alcanzado por el sistema. Para esta fase, es necesario el trabajo de todos los equipos de trabajo a excepción de los usuarios finales.
 - QR (Qualification Review) en reunión a lo largo de la fase D, se determina si el proceso de calificación llevado a cabo demuestra que el diseño, cumple con los márgenes definidos y los requisitos establecidos.
 - AR (Acceptance Review) es una reunión que se lleva a cabo al final de la fase D con el objetivo de verificar que el sistema diseñado está libre de errores de producción y que se puede abordar su subsecuente utilización operacional.
 - ORR (Operational Readiness Review) es una reunión que también se lleva a cabo al finalizar la fase D del proyecto y cuyo objetivo es revisar la compatibilidad del sistema de vuelo con el sistema terreno y la validez de los procedimientos de operación desarrollados.



- **Fase E, utilización.** Tareas necesarias para poner en órbita el satélite y empezar a utilizar el sistema completo. Se explota el sistema hasta que éste deja de estar disponible, por lo que cobra especial relevancia el trabajo del equipo de operaciones que controla el segmento espacio y la utilización del sistema que lleven a cabo los usuarios del mismo.
 - FRR (Flight Readiness Review) revisión de proyecto que se lleva a cabo durante la fase E, antes del lanzamiento del segmento espacio, para comprobar que todos los sistemas necesarios para el lanzamiento estén listos.
 - LRR (Launch Readiness Review) comprobación previa del lanzamiento, para declarar operacionales a todos los elementos del sistema involucrados.
 - CRR (Commissioning Result Review), verificación del estado de operatividad del sistema, según el rendimiento definido durante la etapa de diseño.
 - ELR (End of Life Review), una vez el sistema finalizado su etapa de explotación y tiene el objetivo de preparar al mismo para su desmantelamiento.
- **Fase F, desmantelamiento.** Al alcanzar el límite de su vida útil, este debe ser desmantelado adecuadamente para no causar ningún tipo de daños a terceros. Estas tareas involucran, principalmente, al equipo de operaciones del satélite.
 - MCR (Mission Close-out Review) verificación del sistema desmantelado completamente.

Estas actividades se complementan sistémicamente con el modelo “V”, que de acuerdo con Tubio Pardavila (2012), es un procedimiento de diseño, producción y calificación, el cual parte de un diseño de alto nivel que se va definiendo cada vez con mayor claridad con la participación de los proveedores de los componentes de niveles inferiores hasta llegar el detalle de las especificaciones de nivel inferior (Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021). En la **Figura 20** se presenta la integración de los estándares ESA y el modelo “V”.

Figura 20. Fases y modelo de ingeniería en “V”

Fuente: Tubio Pardavila (2012, p. 54).

De acuerdo con Tubio Pardavila (2012, p. 85) a pesar de que existes unos estándares ECSS es importante indicar que se pueden generar variaciones en los elementos a considerar en la gestión del proyecto, teniendo en cuenta las necesidades particulares del mismo (ciclo de vida tradicional), lo importante es que los componentes adicionales sean compatibles entre sí y que sirvan para expandir las capacidades del sistema diseñado.

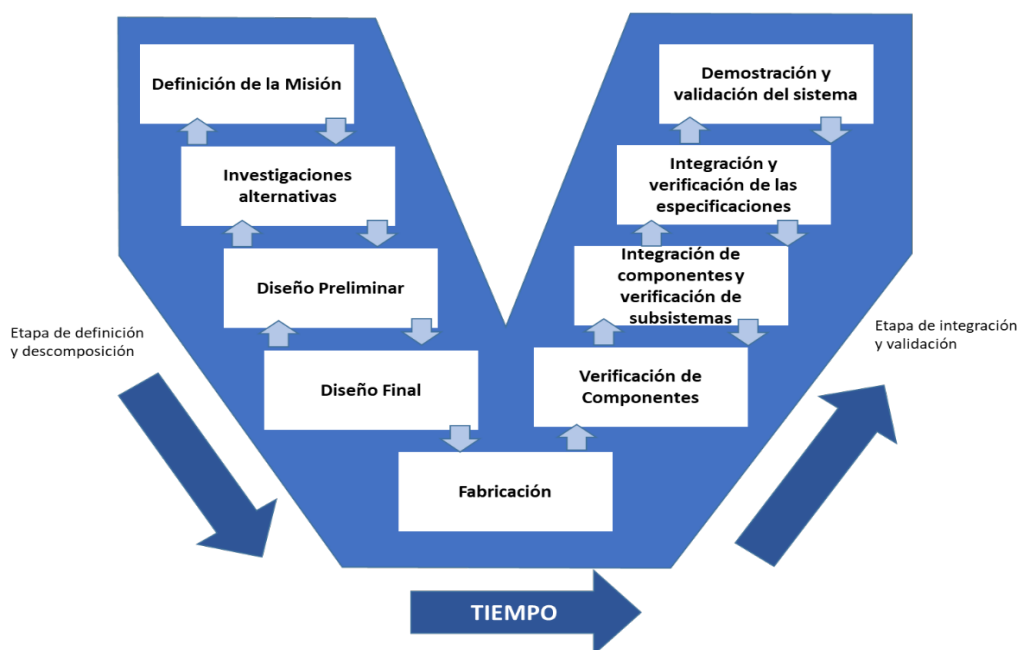
3.5.3 Ingeniería de Sistemas de la Agencia Espacial de México -AEM

De acuerdo con Duarte Muñoz (2018) los proyectos espaciales son complejos y exigen un equipo multidisciplinario coordinado que enfrente los exigentes estándares y retos que pueden impactar la misión. La ingeniería de sistemas guía el diseño, desarrollo y



operación de sistemas complejos, garantizando el cumplimiento de las especificaciones del proyecto en el sistema desarrollado. Esta definición implica que la ingeniería de sistemas impacta el proceso de desarrollo de los productos espaciales desde su diseño hasta su puesta en marcha, y, por lo tanto, consta de tres tareas principales (ver **Figura 21**) (AEM, 2019).

Figura 21. Ingeniería de Sistemas AEM



Fuente: Duarte Muñoz (2018), Cappelletti, Battistini, & Malphrus (2021, p. 14); Robledo Asencio, Rincón Urbina, Cardenas Garcia, Mendez Gomez, & Salek Chaves (2023, p. 8).

El desarrollo de proyectos espaciales implica una serie de etapas críticas que aseguran el cumplimiento y la eficacia del sistema final. Desde la definición inicial de la misión y la descomposición de sus requisitos, hasta la integración y validación de los subsistemas, cada fase requiere una atención detallada para cumplir con los objetivos establecidos. La administración del proyecto, como un proceso transversal, es fundamental para garantizar la coordinación eficaz entre los equipos y el cumplimiento de los plazos, costos y estándares de calidad (ver **Tabla 45**) (Duarte Muñoz, 2018; Cappelletti, Battistini, & Malphrus, 2021, p. 14; Robledo Asencio, Rincón Urbina, Cardenas Garcia, Mendez Gomez, & Salek Chaves, 2023, p. 8).

Tabla 45. *Etapas Críticas del Desarrollo de Proyectos Espaciales*

ETAPA	DESCRIPCIÓN	TAREAS
Definición y Descomposición	Define la misión y la arquitectura del diseño, incluyendo un modelo detallado del sistema y sus subsistemas, y cómo estos interactúan.	- Definición de la misión: Formulación de resultados esperados, identificación de actores involucrados, determinación de requisitos obligatorios y opcionales. - Investigación de alternativas: Revisión de Conceptos de Operación y evaluación de criterios como costo, tiempo y riesgo. - Diseño preliminar: Establecimiento de especificaciones para subsistemas y componentes, documentos de control de interfaces, y determinación del software del sistema.
Integración y Validación	Desarrollo y adquisición de subsistemas, pruebas individuales, y verificación del sistema completo en conjunto.	- Diseño final: Desarrollo detallado de sistemas y subsistemas. - Integración del sistema propuesto: Sincronización de elementos para funcionar como un único componente. - Fabricación: Producción de sistemas para cumplir con requisitos de masa, resistencia y condiciones ambientales. - Verificación de componentes, subsistemas y sistemas completos: Pruebas para asegurar cumplimiento de requisitos. - Pruebas de funcionamiento: Evaluación del comportamiento de los componentes según los requisitos operativos. - Pruebas ambientales: Simulación de condiciones ambientales para verificar funcionamiento (vibración, ruido, termo vacío, radiación, etc.).
Administración del Proyecto	Planificación, organización y control del desarrollo técnico, seguimiento de costos, tiempos y calidad.	- Planificación: Definición de cronograma, asignación de recursos y presupuesto. - Organización: Coordinación de equipos de trabajo y asignación de responsabilidades. - Control: Monitoreo del progreso, gestión de costos y tiempos, y aseguramiento de calidad. - Evaluación: Análisis de los resultados obtenidos, lecciones aprendidas y medidas correctivas.

Fuente: Adaptado de Duarte Muñoz (2018); Cappelletti, Battistini, & Malphrus (2021, p 14); Robledo Asencio, Rincón Urbina, Cardenas Garcia, Mendez Gomez, & Salek Chaves, (2023, p. 8).

Cada etapa del desarrollo del sistema espacial es crucial para garantizar que el producto final cumpla con los requisitos técnicos y operativos necesarios. La correcta ejecución de la definición y descomposición, integración y validación, y la administración del proyecto



asegura la eficiencia del sistema, así como la capacidad para abordar y resolver cualquier desafío que surja durante el proceso. La evaluación final de los resultados y las lecciones aprendidas proporcionan una base sólida para futuras misiones y desarrollos.

3.5.4 Análisis y diseño de Misiones Espaciales (SMAD)

De acuerdo con Wertz y Larson (2007), citados por Rodríguez-Pirateque, Sofrony Esmeral, Cortés García y Rueda (2020, p. 146), el diseño de misión abarca los requisitos fundamentales para desarrollar soluciones, basado en una teoría que sirve de base para su implementación y desarrollo (ver **Tabla 46**).

Tabla 46. Diseño de una misión espacial en cuatro pasos

PASO	SUBPASO	DESCRIPCIÓN
1. Definir objetivos	a. Definir objetivos generales y limitaciones	Establecer los objetivos generales de la misión y las restricciones asociadas.
	b. Estimar necesidades y requisitos cuantitativos	Evaluar las necesidades y requerimientos cuantitativos necesarios para la misión.
2. Caracterizar la misión	a. Definir conceptos alternativos de misión	Identificar diferentes enfoques y conceptos posibles para la misión.
	b. Definir arquitecturas alternativas de misión	Desarrollar diversas estructuras y configuraciones posibles para la misión.
	c. Identificar los controladores del sistema	Identificar los factores clave que influirán en el sistema de la misión.
	d. Caracterizar conceptos y arquitecturas de misión	Detallar los conceptos y estructuras identificadas para la misión espacial.
3. Evaluar la misión	a. Identificar requisitos críticos	Identificar los requisitos esenciales y cruciales para el éxito de la misión.
	b. Evaluar la utilidad de la misión	Evaluar la relevancia y utilidad global de la misión en relación con los objetivos establecidos.
	c. Definir el concepto de misión base	Establecer el concepto fundamental y esencial sobre el cual se construirá la misión completa.
4. Definir requisitos	a. Definir requisitos del sistema	Establecer los requisitos funcionales, operativos y restricciones para el sistema de la misión.
	b. Asignar requisitos a elementos del sistema	Distribuir y asignar los requisitos identificados a componentes y elementos específicos del sistema.

Fuente: Adaptado de Wertz & Larson (2007) y Rodríguez-Pirateque G. W., Sofrony Esmeral, Cortés García, & Rueda (2020, p. 146).

Los pasos que constituyen el diseño de una misión espacial se replantean en fases del ciclo de vida como se listan en la **Tabla 47**, ofreciendo la posibilidad de realizar un seguimiento detallado basado en objetivos específicos y los productos esperados en cada etapa. Esta estructura facilita la toma de decisiones al proporcionar una visión clara y coherente del progreso de la misión, permitiendo a los responsables del proyecto evaluar de manera efectiva el cumplimiento de metas y la consecución de hitos clave.

Este enfoque cíclico del diseño de la misión, que abarca desde la definición inicial de la misión hasta la disposición final del sistema espacial, no solo proporciona una estructura lógica para la ejecución de actividades, sino que también permite una adaptación continua. A medida que se avanza en las diferentes fases, es posible ajustar estrategias y enfoques para hacer frente a desafíos específicos, aprovechando las lecciones aprendidas y la evolución de la tecnología.

Tabla 47. *Fases de desarrollo de un programa espacial*

FASE	SUBFASE	DESCRIPCIÓN
Presistema	Prefase-A / evaluación de conceptos	a. Borrador de los requerimientos del proyecto. b. Revisión del concepto de la misión (Mission Concept Review –MCR).
	Fase A / desarrollo de concepto y tecnología	a. Plan de proyecto preliminar b. Revisión de los requerimientos del sistema (Systems Requirements Review –SRR). c. Revisión de la definición de la misión (Mission Definition Review –MDR).
	Fase B / diseño preliminar y definición tecnológica	a. Plan de proyecto de línea base b. Preliminar (Preliminary Design Review –PDR–).
Sistema	Fase C / diseño final y fabricación	a. Revisión crítica del diseño (Critical Design Review –CDR). b. Revisión de las interfaces del sistema (System Interface Review –SIR).
	Fase D / ensamblaje del sistema, integración y prueba, lanzamiento	a. Revisión de preparación operacional (Operational Readiness Review –ORR). b. Revisión previa del transporte antes de llegar al sitio de lanzamiento (Review prior to shipment to launch site –PRE-SHIP–).



FASE	SUBFASE	DESCRIPCIÓN
Operaciones	Fase E / operaciones y sostenimiento	a. Fin de misión. b. Revisión de preparación de vuelo (Flight Readiness Review – FRR). c. Revisión de preparación de lanzamiento (Launch Readiness Review – LRR). d. Revisión de valoración post lanzamiento (Post Launch Assessment Review – PLAR). e. Revisión de preparación de eventos críticos (Critical Events Readiness Review – CERR).
Retiro de Servicio	Fase F / cierre y recuperación	a. Archivo final de datos. b. Revisión de retiro de servicio (Decommissioning Review – DR).

A partir de estas fases, se realiza la descomposición del sistema por niveles y se determinan los recursos y materiales necesarios mediante líneas de trabajo y despliegue de funciones, con las cuales se puntualizan las acciones y se asigna la responsabilidad a cada uno de los actores en el análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación de los proyectos frente a sus objetivos y resultados esperados.

De acuerdo con las metodologías anteriormente referenciadas, se puede concluir que hay etapas y fases comunes que se utilizan, dependiendo de los referentes que se consideren, que al final determinan los productos o sistemas espaciales en su configuración, diseño y fabricación. Es importante considerar a pesar de que en los diseños de los productos y sistemas espaciales pueden, dependiendo del tipo de proyecto, omitir algunas fases y documentos entregables, es necesario tener en cuenta que el proceso de regulación, licenciamiento y certificaciones se pueden solicitar.

3.6 ANÁLISIS TÉCNICO DE LA MISIÓN ESPACIAL FACSAT-2

Se basa en tres aspectos fundamentales: la metodología de trabajo del proyecto, el concepto de operación y la misión espacial en sí misma, cada uno de los cuales se examina en detalle para garantizar un enfoque integral y coherente.

El análisis de la metodología del proyecto FACSAT-2 revela el uso de la metodología del ciclo de vida de proyecto formulada por la ESA, incluyendo el diseño iterativo y la participación conjunta de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y GOMspace. El concepto de operación (CONOPS) destaca los modos operativos del satélite, asegurando su

funcionalidad óptima y comunicación eficiente con la estación terrestre. Finalmente, la misión FACSAT-2, un CubeSat de seis Unidades (6U), demuestra capacidades tecnológicas avanzadas en la construcción y operación de nanosatélites, con aplicaciones en estudios multitemporales gracias a su generador de imágenes de alta resolución. Estos aspectos técnicos subrayan la robustez y la viabilidad económica del proyecto, alineados con los objetivos estratégicos y de desarrollo tecnológico de la nación.

3.6.1 Metodología de la misión espacial FACSAT-2

Se hace uso de la metodología del ciclo de vida de proyecto formulada por la ESA, de acuerdo con el estándar (ESA, ECSS-E-ST-10C, 2009) Rev. 1 (Rincón S. R., Cárdenas, Riaño, & Pirazán, 2021). Es importante que se considere la Fase F, que no está contemplada, ya que se relaciona con el desmantelamiento de la misión y disposición final del satélite. Las gestiones documentales se cumplen de manera conjunta, en la que la FAC participa del diseño conceptual, preliminar y detallado, así como generación de los documentos de ingeniería que son validados finalmente por GOMspace. El diseño y desarrollo del software e integración de los diferentes subsistemas es liderado por GOMspace. No obstante, el satélite cuenta con la inclusión de un software de cifrado desarrollado por la FAC.

El ciclo de diseño de soluciones es un proceso iterativo en el que se establecen conceptos de diseño alternativos basados en los requisitos de la misión y las suposiciones del sistema. Los estudios de intercambio o el análisis de mérito, conocidos en inglés como trade-offs, permiten al equipo del FACSAT-2 identificar las soluciones técnicas más equilibradas que cumplan con los criterios de cronograma, costos y rendimiento.

Tomando como referencia las siete funciones del problema de diseño a nivel de sistema, los insumos principales son los requisitos técnicos de alto nivel y el Concepto de Operación (CONOPS), el análisis de requisitos y el diseño arquitectónico. Los resultados principales son la base los requisitos de calificación de los subsistemas en el proceso en ensamble, Integración y Verificación (AIV), los procedimientos de prueba y los manuales de integración del satélite (Rincón-Urbina S. R. et al., 2023, p. 82).

Aunque el proceso de diseño depende de la definición correcta de la arquitectura del sistema satelital, al mismo tiempo debe estar alineado con todo el concepto de la misión. En la fase de Diseño Crítico, este concepto debe estar completamente definido.



3.6.2 Concepto de operación

El concepto de operación (CONOPS) puede referirse al uso de uno o más sistemas, para promover las metas y objetivos de la organización (INCOSE, 2015). Esta información se consiga en un documento guía junto con el alcance, los requisitos técnicos y la secuencia de eventos que se llevarán a cabo durante la misión, desde el lanzamiento hasta la disposición final del sistema. Además, ayuda a garantizar la factibilidad de la misión en función del cumplimiento de los objetivos.

El concepto de operación se desarrolla generalmente por un equipo de ingenieros, científicos y expertos en gestión de proyectos. El equipo debe tener un conocimiento profundo de la misión y los requisitos técnicos necesarios para llevarla a cabo, esto aunado al dinamismo del documento debido a que puede modificarse a medida que se desarrolla la misión. Sin embargo, es importante tener un concepto de operación sólido antes de proceder a la fase de diseño de los sistemas.

Por otra parte, **el concepto operacional** es un elemento importante del concepto de operación (INCOSE, 2015). Este apartado del CONOPS contempla una definición específica de cómo se llevará a cabo una tarea o actividad dentro de la misión. Para el caso de FACSAT-2, presenta el escenario operativo del satélite para la adquisición de la información tomada por el activo y la operación remota del sistema.

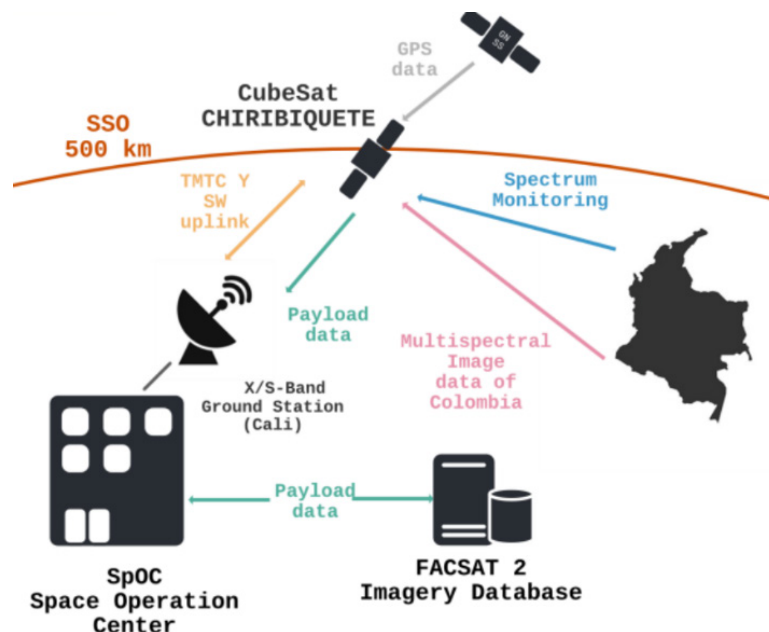
a) **Concepto operacional**

La nave espacial FACSAT-2 presenta varios modos operativos diseñados para asegurar su funcionamiento óptimo en diversas condiciones. Los modos operativos que la nave espacial son determinados en función del ambiente operacional, y son los que cumplirá durante su vida útil (Nascetti, Caputo, Scipinotti, & de Cesare, 2016). Los modos descritos a continuación se definen en función de la criticidad de las operaciones nominales de la carga útil del subsistema de potencia eléctrica, actuando al mismo tiempo como un marco de referencia para los modos del subsistema de determinación de determinación y control, y se establecen para asegurar la seguridad y eficacia de la nave espacial en su misión R (Rincón-Urbina S. R., et al., 2023, p. 75). Estos modos incluyen estabilización inicial para garantizar energía positiva con los paneles solares plegados, modo seguro

en caso de fallas, modo inactivo que maximiza la generación de energía y permite la comunicación con la estación terrestre, modo de cargas útiles que activa componentes específicos, así como enlaces de descarga X-Band y S-Band para transmitir datos de imágenes acumulados durante el día (Rincón-Urbina S. R., et al., 2023, p. 73).

El concepto de operación de la carga útil establece que una vez que los datos de carga útil son capturados de día, y si es requerido, preprocesados, los datos se descargan a la estación terrestre utilizando un enlace X-Band. Las actividades de preprocesamiento incluyen la compresión y el cifrado (paquetización) de los datos de carga útil. Los datos de telemetría y telecomando (TMTC) transferidos en doble vía entre el activo y la estación de tierra. Los datos descargados del activo, tales como imágenes o radiometría son postprocesados en tierra y almacenados. De acuerdo con las condiciones de entorno previamente analizadas, errores latentes de software y hardware pueden ser detectadas con el análisis de la telemetría de los subsistemas, (Rincón-Urbina S. R. et al. 2023, p. 73), la **Figura 22** esquematiza el concepto operacional del FACSAT-2.

Figura 22. Concepto operacional de la misión FACSAT-2



Fuente: Tomado de Rincón-Urbina S. R. et al., 2023, p. 73.

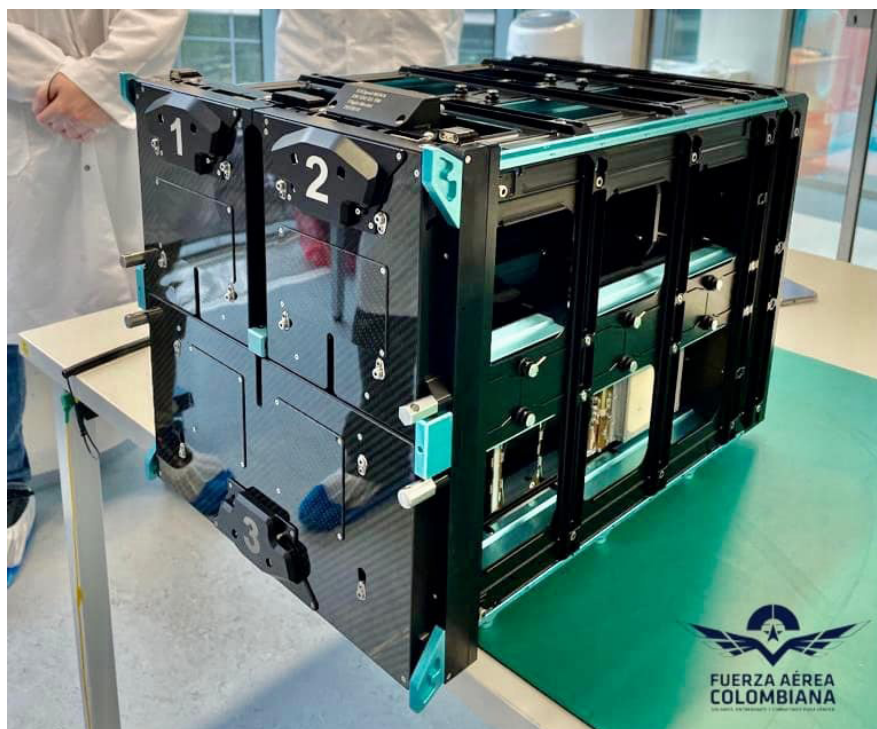


3.6.3 Misión espacial FACSAT-2

La misión FACSAT-2 corresponde a un CubeSat de seis Unidades (6U) construido por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), como demostración de capacidades tecnológicas en la construcción y operación de un nanosatélite (Rincón-Urbina, Cárdenas-García, & Pirazán-Villanueva, 2023). Para ello, la empresa de Dinamarca GOMspace, como aliado tecnológico y desarrollador del bus, transfiere el conocimiento tecnológico al personal de la FAC en lo referente al diseño de los subsistemas e integración de las cargas útiles al bus satelital; incluyendo el diseño de las pruebas y validación en tierra y órbita. El generador de imágenes que lleva el satélite (resolución de 5 metros/pixel) permite aplicaciones relacionadas con estudios multitemporales. Las imágenes y datos se descargarán de acuerdo con lo contemplado en el concepto de operación (CONOPS).

El dispensador del Satélite del FACSAT-2 es un dispensador utilizado para desplegar satélites pequeños en órbita desde el vehículo de lanzamiento; la estructura tipo caja puede alojar uno o más satélites pequeños (ver **Figura 23**).

Figura 23. *Dispensador del Satélite FACSAT-2*



Se aprecia el FACSAT-2 contenido en el alojamiento número 3, el cual permite acoplarse al vehículo de lanzamiento Falcon-9, y es liberado con la actuación de un mecanismo que se activa para desplegar los satélites en el espacio.

3.6.4 Levantamiento documental para el diagnóstico del proyecto FACSAT-2

Con el fin de establecer un diagnóstico de las capacidades existentes en el CITAE para el desarrollo de **la misión espacial FACSAT-2**, se diseñó un instrumento de valoración a la estructura documental propuesta para el proyecto (Rincón S. R., Cárdenas, Riaño, & Pirazán, 2021), con el fin de recolectar la información técnica, tecnológica y de infraestructura de la FAC, relacionada con el diseño de la misión. El instrumento permite levantar datos relacionados con recursos existentes y la factibilidad de realizar todas las actividades en la misión del FACSAT-2 o la necesidad de trabajar conjuntamente con otra empresa de mayor madurez y experiencia en el desarrollo de satélites que les permita adquirir la transferencia tecnológica adecuada para instalar su capacidad a nivel nacional de Colombia.

3.6.5 Síntesis y recomendaciones

Como resultado del diagnóstico técnico se puede establecer que:

1. Respecto a la estructura documental se puede afirmar lo siguiente:

- 1.1 Es imprescindible tener una estructura codificada que le permita a todos los profesionales acceder a la información y su ruta de ubicación. Se recomienda el uso de un organizador de información o metadata, como documento que incluya la ubicación, contenido, referencia, nomenclatura interna y especifique si ya existe en la Suite Vision de la FAC, así como el procedimiento a seguir mientras se adapta.
- 1.2 Se recomienda al empleo de las normas ESA, adicionar otros estándares aplicables, que permita suministrar más detalles, llenar vacíos en el conocimiento en el desarrollo de los requisitos funcionales y de los no funcionales.
- 1.3 La minería de datos relacionada con el tema es amplia, por lo que se recomienda un repositorio para que los profesionales puedan acceder a dicha información.
- 1.4 Se identificó que dentro del software disponible se poseen licencias de investigación y académicas, lo que permite su exploración y avance en la búsqueda de conocimiento de manera más económica. Sin embargo, son técnicamente restringidas para el trabajo colaborativo con una empresa comercial como GOMspace, debido a la compatibilidad de los archivos.



- 1.5 El proyecto requiere un monitoreo con modelos de confiabilidad que permitan recolectar información relacionada con posibles fallas o errores que se presentan en las diferentes etapas de diseños, construcción, ensamble e integración y operación, con el fin tener sistematización de las lecciones aprendidas como un mecanismo de mejoramiento en la siguiente etapa, **la misión espacial FACSAT-3**. Aunque generalmente las fallas y errores que se presentan en un CubeSat están relacionados con la falla aleatoria de componentes, los datos de misiones y pruebas en tierra generados, a través de la experiencia recolectada muestran que los errores sistémicos se generan en el diseño y/o en la fabricación. Una experiencia exitosa a consultar es la Base de Datos de Fallas de CubeSat (CFDB) y de igual manera, realizar la consulta, en términos estadísticos, de las fallas generadas en los componentes a comprar a los proveedores seleccionados en el proyecto, se recomienda revisar la norma MIL-HDBK-217F.

2. Respecto al proveedor y al entrenamiento asociando al desarrollo de la misión, se puede ultimar que:

- 2.1 El proceso de planeación, precontractual y contractual para la adquisición del servicio de desarrollo del satélite, puede verse impactado negativamente por la renovación tecnológica. Esto, debido a que es necesario definir el tipo de misión, requerimientos, base y órbita, en las etapas iniciales del desarrollo; lo que conlleva a que el diseño de la misión se limite al preliminar previamente establecido, que restringe la introducción de nuevas tecnologías o reducción de costos durante las fases de producción.
- 2.2 Emplear los componentes del bus de un solo fabricante, puesto que no es un clon a lo que deben aventurarse. Mediando con la transferencia tecnológica y documental, se pueden subsanar los errores aprendidos de otros, garantizando así, el correcto desempeño, la compatibilidad de los mismos y los respaldos del producto. Finalmente, se espera contar con los misceláneos a la mano, así como las pruebas de validación de los subsistemas, sistemas y producto final dentro de un mismo laboratorio que minimice los errores y garantice el correcto funcionamiento.

3. Respecto a la renovación tecnológica, se puede afirmar que:

- 3.1 Las gestiones logísticas, tiempos de producción y entrega de componentes entre otros imprevistos, generan que la innovación tecnológica se reduzca en el tiempo, debido al largo periodo entre la definición de requisitos y la selección del sistema,

hasta el lanzamiento del producto al espacio. Así mismo, se limita la posibilidad de adquirir componentes a menor costo.

- 3.2 El programa de pruebas debe realizarse teniendo como base las normas ECSS-E-ST-10-02C y ECSS-E-ST-10-03C, y debe ser ajustado con los resultados de la revisión posterior a las pruebas (calificación/aceptación, AITP, AIV, etc.), por el comité de ensayos (TRB). De tal forma que, pueda recoger las recomendaciones experimentales de pruebas adicionales en la valoración y aquellas que se adicionen basadas en el avance tecnológico. Además de los procedimientos de ensayo, incluidos en el documento de pruebas, se deberá incluir cualquier anomalía presentada durante la falla, condiciones del medio, alteraciones, combinación de pruebas o mixtas, desempeño, protocolo, etc., necesario para el manejo e interpretación y análisis.
- 3.3 El estándar TEC-SY/128/2013/SPD/RW contiene 88 normas para satélites, de las cuales solo 15 aplican para CubeSats con excepciones. Sin embargo, para complementar el diseño, funcionalidad y operatividad se deben generar inclusiones de algunas excepciones, así como de las 73 normas no consideradas, que fortalezcan el control del CubeSat.

4. Otros aspectos clave:

- 4.1 **Eficiencia Metodológica:** La adopción de la metodología del ciclo de vida del proyecto formulada por la ESA asegura un enfoque riguroso y estructurado en todas las fases del proyecto, desde el diseño conceptual hasta la integración y validación final. Esta metodología estandarizada contribuye a la calidad y fiabilidad del proyecto, facilitando la alineación con las mejores prácticas internacionales.
- 4.2 **Concepto de Operación Integral:** El concepto de operación (CONOPS) proporciona un marco detallado y dinámico para el uso y operación de los sistemas del satélite. La definición clara de los modos operativos asegura la optimización de recursos y la eficacia en el cumplimiento de los objetivos de la misión, adaptándose a las necesidades cambiantes del proyecto.
- 4.3 **Capacidades Tecnológicas y Cooperación Internacional:** La misión FACSAT-2, liderada por la Fuerza Aérea Colombiana con el apoyo tecnológico de GOMspace, demuestra las capacidades tecnológicas de Colombia en la construcción y operación de nanosatélites. La colaboración internacional y la transferencia de conocimientos fortalecen las capacidades nacionales y promueven el desarrollo de la industria espacial en el país.



- 4.4 Aplicaciones y Beneficios:** La misión FACSAT-2, con su generador de imágenes de alta resolución, tiene aplicaciones significativas en estudios multitemporales y observación de la tierra, lo cual es crucial para diversos sectores como la agricultura, la gestión ambiental y la seguridad. Esto subraya el valor estratégico del programa espacial para el desarrollo sostenible y la soberanía tecnológica de Colombia.
- 4.5 Viabilidad y Sostenibilidad:** El análisis técnico resalta la importancia de una planificación estratégica y una gestión efectiva para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto a largo plazo. La capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes y la optimización de los recursos son fundamentales para la continuidad de la misión.

El análisis técnico de la misión FACSAT-2 no solo destaca los logros tecnológicos y operativos, sino también la relevancia estratégica del programa espacial colombiano. La misión refleja un modelo exitoso de cooperación internacional, fortalecimiento de capacidades nacionales y contribución al desarrollo sostenible del país.

3.7 ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LA MISIÓN ESPACIAL FACSAT-2

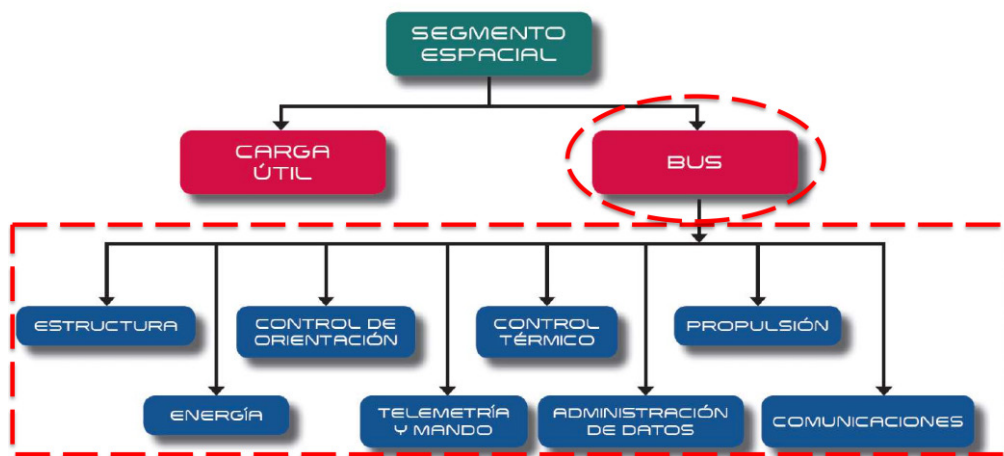
El análisis tecnológico de la misión espacial FACSAT-2, liderada por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), constituye un pilar fundamental para el desarrollo y la consolidación de capacidades espaciales en Colombia. La interrelación de los componentes esenciales del CubeSat 6U, incluyendo **sistemas y subsistemas** así como **herramientas equipos necesarios para el proyecto**, aseguran no solo el desarrollo de la misión, sino también la transferencia de conocimientos y el fortalecimiento del ecosistema espacial nacional.

3.7.1 Sistemas y subsistemas de la misión espacial FACSAT-2

De acuerdo con Durango Quintero (2021, p. 23) un satélite se divide en dos partes: La plataforma también denominada Bus, y la carga útil (Payload). Mientras la plataforma es la encargada de darle soporte al funcionamiento del satélite como energía, posicionamiento, comunicaciones, trabajo a determinados niveles de temperatura, entre otros; la carga útil es la encargada de realizar la misión del satélite (Romero Valdés & Rodríguez Cortés, 2005), (Bohórquez Garzón, 2018, p. 35). Según (Mark, 2004) citado por (Durango Quintero, 2021, p. 23) la plataforma es el conjunto de subsistemas que depende uno del otro para lograr

el correcto funcionamiento del satélite. En la **Figura 24**, se representan los sistemas y subsistemas del satélite.

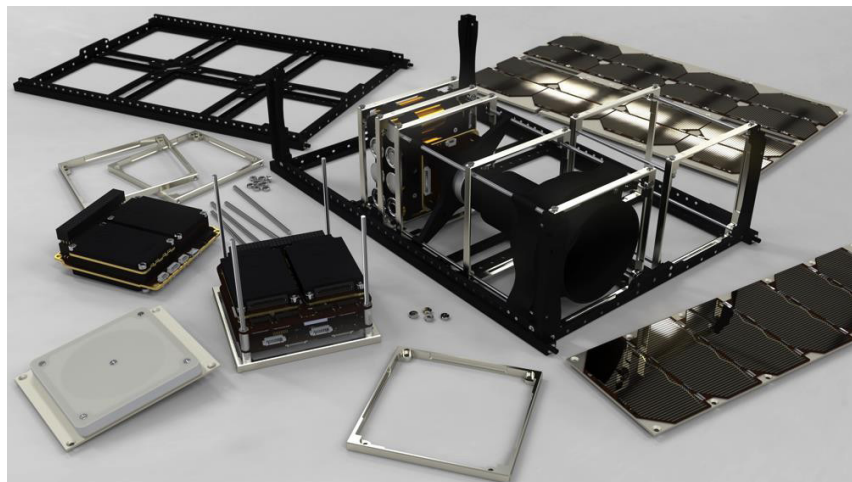
Figura 24. Sistemas y subsistemas de un CubeSat

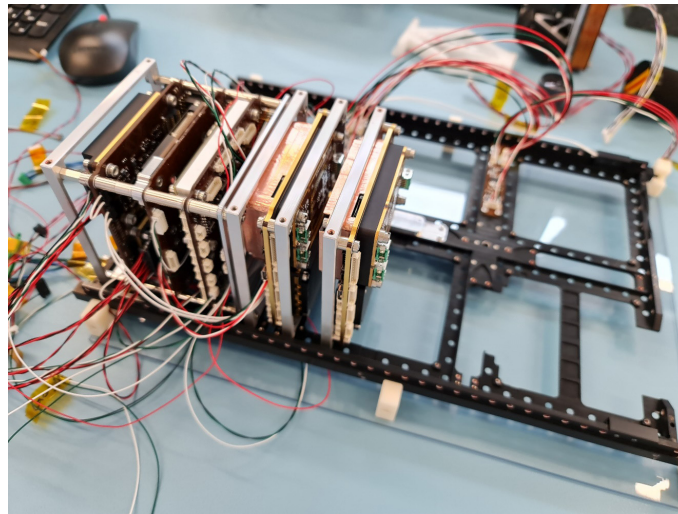


Fuente: Rebollar (2018).

De igual manera, la **Figura 25** muestra la estructura del FACSAT-2, su configuración y el montaje de uno de los rines (ver **Tabla 48**).

Figura 25. Ensamble del FACSAT-2



**Tabla 48.** Configuración de la estructura de 6U

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
Masa Estructural Predeterminada	1,060 g.
4U Disponibles para Carga Útil	La plataforma asigna una significativa cantidad de 4U para la incorporación de carga útil.
Alto Grado de Libertad para Montaje de Hardware	Utilizar anillos de montaje para el montaje de hardware garantiza flexibilidad en la configuración.
Cuatro Interruptores de Apagado	Incorporados para el control operativo durante el despliegue del satélite.
Agujeros Roscados con Helicoils	Aseguran la puesta a tierra mediante Helicoils en todos los agujeros roscados.
Material	Construido con Al 7075, asegurando durabilidad.
Masa de la Estructura por Sí sola	731 g.
Mediciones Externas sin Interruptores de Apagado	340.5 x 226.3 x 100.0 mm.

En el caso del FACSAT-2, cada subsistema garantiza que el satélite pueda realizar sus tareas de manera eficiente y confiable. La **Tabla 49** detalla los principales subsistemas del FACSAT-2, proporcionando una visión integral de sus responsabilidades y características específicas. Desde la estructura que soporta y proporciona rigidez al satélite, hasta los sistemas de comunicación y telemetría esenciales para la transferencia de datos, cada subsistema está diseñado para cumplir con estándares rigurosos y contribuir a la misión (Durango Quintero, 2021; Guerrero Monta, 2018, p. 28).

Tabla 49. Subsistemas del Satélite FACSAT-2

SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES ESPECÍFICAS
Subsistema Estructural	Proporciona rigidez al satélite y soporte a los demás subsistemas.	El diseño debe ser validado mediante pruebas térmicas, de resistencia, esfuerzo, eléctricas y conductivas para asegurar su fiabilidad en la misión espacial (Mark, 2004).
Subsistemas de Comunicaciones y Telemetría	Responsable de la comunicación y telemetría del satélite.	Utiliza antenas y transpondedores para recibir y enviar información o comandos desde estaciones en tierra y establecer comunicaciones con otros satélites según la misión (Mark, 2004).
Subsistema de Determinación de Actitud y Control (ADCS)	Mantiene el satélite posicionado correctamente para el envío y recepción de información.	Incluye ruedas de reacción para ajustar el momento angular sin usar combustible, además de corregir la órbita y optimizar la exposición solar para la carga de las baterías (Mark, 2004; Bohórquez Garzón, 2018).
Subsistema de Computadora a Bordo (OBC)	Coordina y controla todas las acciones del satélite.	Actúa como el “cerebro” del satélite, enviando órdenes a los módulos, recibiendo y almacenando información del CubeSat, y transmitiéndola a la Tierra (Cubesatmodules, 2013).
Subsistema Térmico	Regula la temperatura de los subsistemas del satélite.	Utiliza un sistema de conductos con líquidos refrigerantes como el amoníaco, que se evapora y se dirige al radiador para enfriarse antes de recircularse, manteniendo así los equipos en un rango óptimo de temperatura (Mark, 2004).
Subsistema de Potencia Eléctrica (EPS)	Genera, almacena y suministra energía a los componentes electrónicos y mecánicos.	Incluye paneles solares y baterías, y regula la energía para evitar sobrecargas en los subsistemas. Controla el consumo, apagando transpondedores durante eclipses u otros periodos de baja demanda (Mark, 2004).
Carga Útil (Payload)	Conjunto de elementos dedicados a la misión principal del satélite.	Incluye sensores para medir fenómenos como temperatura, radiación y campo magnético, además de equipos como cámaras y antenas según la función de la misión, como captura de imágenes o transmisión de televisión, internet o telefonía (AEM, Agencia Espacial Mexicana, 2019), (Bohórquez Garzón, 2018).

Fuente: Adaptado de AEM, Agencia Espacial Mexicana (2019); Bohórquez Garzón (2018); Mark (2004); Cubesatmodules (2013).

La comprensión detallada de los subsistemas del FACSAT-2 subraya su importancia en el funcionamiento y la misión del satélite. Cada subsistema, desde el de determinación de actitud y control hasta el de carga útil, está cuidadosamente diseñado para abordar los desafíos únicos del entorno espacial. Al asegurar que estos subsistemas operen de manera integrada y eficiente, el FACSAT-2 está preparado para cumplir con sus objetivos y ofrecer resultados valiosos en la exploración y observación espacial. La información



proporcionada en esta tabla destaca cómo cada componente contribuye al rendimiento general del satélite, facilitando la planificación y ejecución exitosa de la misión.

Considerando el contexto del programa espacial FACSAT, la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) puso en marcha diversos proyectos con el objetivo de crear las condiciones propicias para obtener las capacidades necesarias para la misión FACSAT-2 (Rincón-Urbina, Cárdenas-García, & Pirazán-Villanueva, 2022). En este sentido, se lleva a cabo la identificación de las componentes de un CubeSat estándar de 6U (ver **Tabla 50**), las cuales son utilizadas en la misión GOM-3X.

Tabla 50. *Sistemas de la misión espacial FACSAT-2*

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Estructura 6U (Al 7075)	Genérica para montaje bajo estándar PC-104 de hardware interno con orientaciones múltiples, 1060 g., y 340 mm x 226 mm x 100 mm, sensores de disparo integrados.
Sistema Eléctrico modular (EPS)	Fuente de poder para pequeños satélites, configuración estándar (Dock-ACU-PDU), ACU de 6 canales, PDU de 9 canales, dock de 4 módulos, salida regulada 3,3V - 5V, interfase “Kill Switch”, operación de baja EMI, integración con baterías
Sistema de almacenaje de energía	Baterías de litio-ion, capacidad de proveer telemetría sobre protocolo CSP, sistema autónomo de calentamiento, posibilidad de expansión, capacidad entre 7,4V-29,6V, voltaje nominal: 7,2V-33,6V, corriente de carga 2500mA-8000mA, corriente de descarga 0-8000mA, dimensiones aproximadas 91 mm x 85 mm x 40 mm, peso aproximado a partir de 500 g.
Placa base (motherboard)	interfase USB, 12C, UART, CAN-Bus, protocolo CSP, soporte hasta 4 subsistemas, dimensiones aproximadas: 91 mm x 88mm x 8mm, peso aproximado: 51g.
Computador (OBC)	Capacidad 512KB flash, 128MB NOR Flash, 32KB SDRAM, sistema de control de actitud, RTC Dock, sensor de temperatura a bordo, dimensiones aproximadas: 65mm x 40mm x 6mm, peso aproximado: 14g, interfaces 12C, UART, CAN-Bus.
Radio UHF	Rata de datos desde 0,1 Kbps hasta 115,2 Kbps, sensibilidad menor que -137dBm, transmisor con 30dBm de salida a 45% PAE, interfase CSP, dimensiones aproximadas: 65mm x 40mm x 6mm, peso aproximado 24g, conector de antena integrado MCX
Antena UHF	Diseño doble polo, rango de frecuencia: 340-680 MHz, sistema de despliegue integrado.
Soporte de test (Flat-sat test-bed)	Para test de hardware y software, integración con componentes adquiridos del satélite, conectores montados, soporte de 3 subsistemas y 2 adicionales como cargas externas, doble modo de operación (sistema eléctrico EPS / Cables externos), interfaces CAN e 12C.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Software y librerías para el OBC	SDK compatible con el computador de abordo, incluye librería de misión, permite el desarrollo de aplicaciones compatibles con OBC, almacenamiento en archivo o en flash.
Software del módulo terrestre	SDK para control de tierra, permite el desarrollo de aplicaciones para el módulo terrestre, permite el planeamiento de misión, programación y administración de operaciones espaciales relacionadas con el satélite.
EGSE	Electrical Ground Support Equipment: Equipo eléctrico no definido que depende del avance del diseño.
Misceláneos	Subcomponentes como cableadores, conectores interetapas y los demás necesarios para el desarrollo del diseño.

En la **Figura 26**, se presenta la relación de las partes, estructuras, sistemas y subsistemas propuestos para el proyecto.

Figura 26. Estructura Estándar 6U



Masa de estructura predeterminada	1.060 g
Material	Alu 7075
Masa de estructura sola	731 g
Medidas exteriores sin killswitches	340,5 x 226,3 x 100,0 mm
Marco grande, incluidos los interruptores de parada	330 g
Soporte de esquina	14 g
Anillo de montaje A o B	15 g
Anillo de montaje YA o YB	26 g
Varilla roscada M ³	0.0495 g/mm
Cables voladores, 60 cm	6 g

Fuente: GOMspace (2018). <https://gomspace.com/shop/subsystems>



Teniendo en cuenta las características del contrato y el proveedor seleccionado, se está garantizando que el proyecto pueda llegar a feliz término, no solo con la adquisición y suministro de las partes, componentes, sistemas y subsistemas del CubeSat 6U, sino también el software asociado a su funcionamiento y operación, y la transferencia del conocimiento. Sin embargo, es vital para garantizar las capacidades de ensamble, desarrollo y fabricación del satélite que se realice una gestión documental estricta y organizada, y se documenten las lecciones aprendidas dentro del proyecto para que se genere una gestión adecuada de la información. Lo anterior con el fin de dar cumplimiento y trazabilidad a los requerimientos de la misión, además de asegurar la expansión del ecosistema de conocimiento para próximas misiones satelitales.

3.7.2 Infraestructura instalada

El análisis identificó las características de la infraestructura instalada, herramienta disponible y manuales, así mismo se consultaron otras fuentes:

- Manuales de laboratorios relacionados con la fabricación de satélites
- Estándares de laboratorios para uso de desarrollos satelitales
- Estándares ECSS
- Documentos y certificaciones de los laboratorios en la FAC
- Planos de las instalaciones del CITAE
- Planos de Proyección de los laboratorios de Ensamble, Integración y pruebas.
- Pruebas de laboratorios requeridos
- Documentación técnica del proyecto FACSAT 1 y 2 (Fuerza Aérea Colombiana, 2021)

a) Instalaciones y laboratorios para la misión espacial FACSAT-2

La **Tabla 51** presenta la relación de Infraestructura y laboratorios del CITAE al 2021.

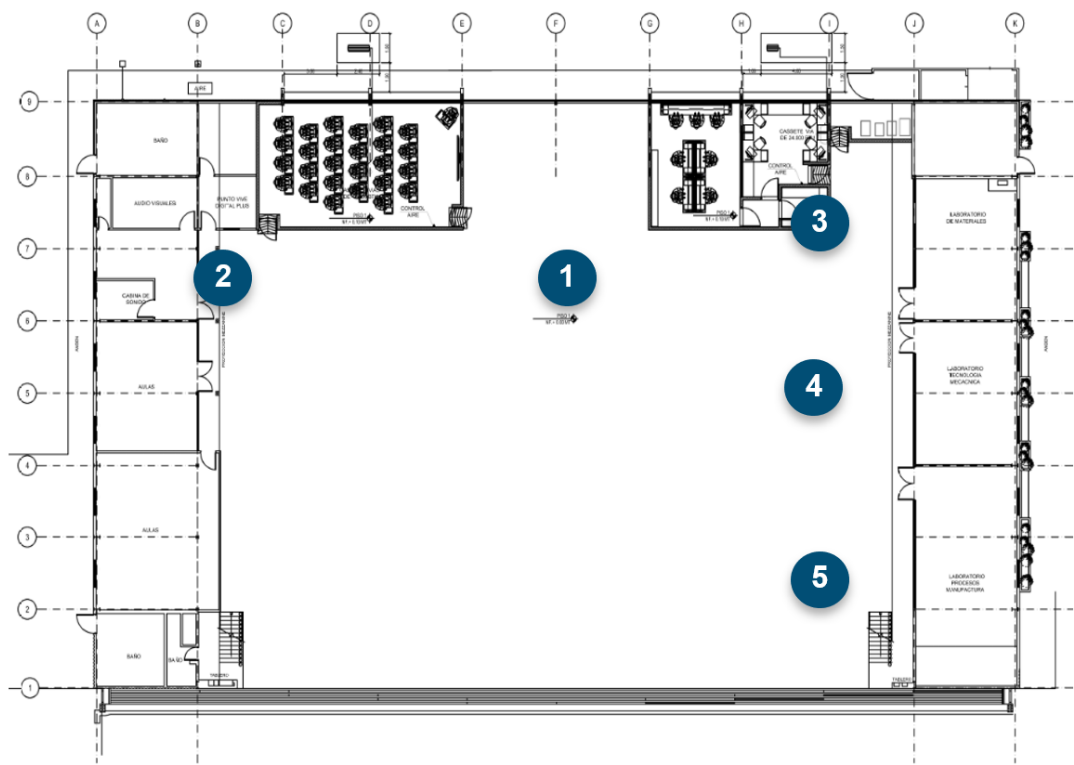
Tabla 51. Relación de Infraestructura y laboratorios CITAE 2021

No	INFRAESTRUCTURA	CARACTERÍSTICA
1	Laboratorio de Electrónica	Clasificación ISO -8
2	Laboratorio de Simulación	Diseño CAD, FEA, Arduino
3	Laboratorio de desarrollo de producto	Tarjeta electrónicas PCB, Carcasas

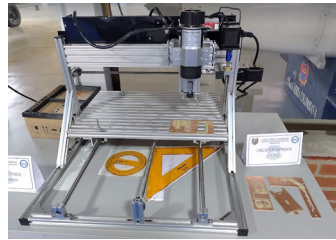
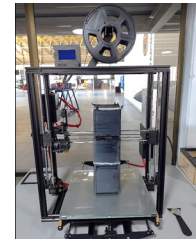
No	INFRAESTRUCTURA	CARACTERÍSTICA
4	Laboratorio de Design & Thinking	Metodología Interactiva
5	Laboratorio de Materiales	Blanco, gris y negro
6	Estación de comando y control FACSAT	Supervisión, gestión y control de operaciones

Las **Figura 27** presenta la distribución dentro del CITAE y la distribución de espacios que establece la **Tabla 51**.

Figura 27. Distribución de la Infraestructura del CITAE



La distribución de la Infraestructura del CITAE muestra un ala de oficinas a la izquierda y los cuartos de trabajo a la derecha, un cuatro limpio ISO Clase 8 y una sala de simulación dotada para el equipo de ingeniería. En la **Figura 28**, se aprecia cada uno de los laboratorios.

**Figura 28.** Laboratorios del CITAEa) Laboratorio de
Cuarto Limpiob) Ruteadora de tarjetas
electrónicasc) Insumos de
Laboratoriod) Impresora
3D

b) Pruebas de laboratorios de la misión espacial FACSAT-2

Durante el proceso de desarrollo del producto, se establecen pruebas y análisis con acuerdos específicos para su generación. Para el contexto de los proyectos de nano-satélites CubeSat de demostración en órbita, la FAC emplea el estándar de la Agencia Espacial Europea (ESA) en referencia de ingeniería personalizada ECSS, específicamente el documento (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016) (ver **Tabla 52**).

Tabla 52. Aspectos clave y beneficios de la normativa ECSS para CubeSat

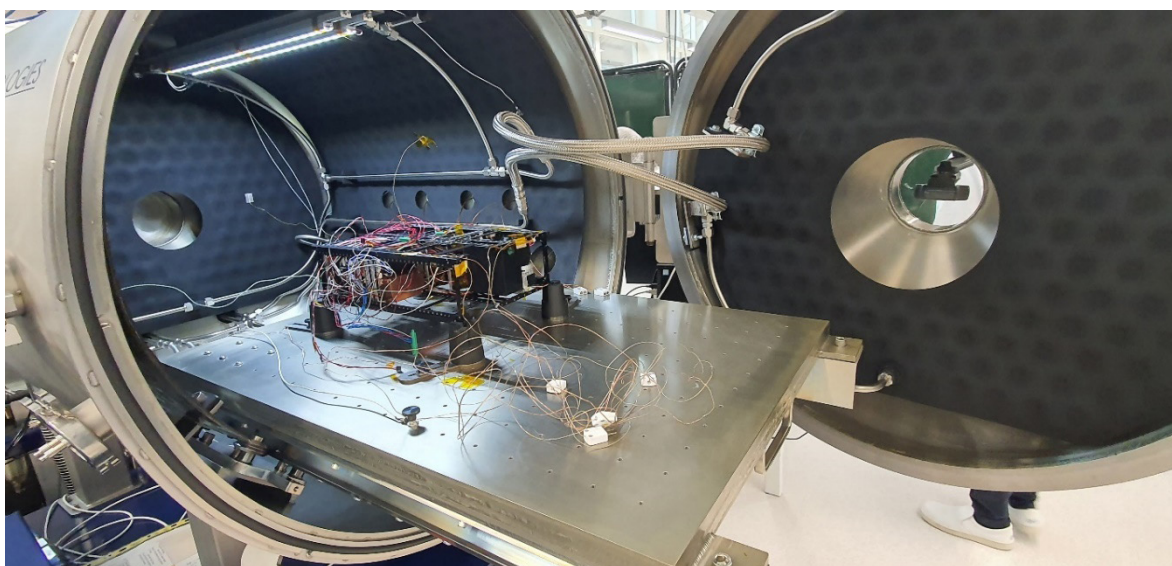
ASPECTO	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Propósito y Objetivos	Armonización	Uniformar prácticas espaciales en Europa
	Aseguramiento de la Calidad	Garantizar alta calidad y fiabilidad
	Eficiencia de Costos	Reducir costos y evitar duplicación
	Gestión de Riesgos	Proveer un marco para la gestión de riesgos
Estructura	Gestión (M)	Gestión de proyectos, configuración, riesgos, y costos
	Ingeniería (E)	Ingeniería de sistemas, software, eléctrica, mecánica, etc.
Estructura	Aseguramiento de Producto (Q)	Calidad, seguridad, fiabilidad
	Sostenibilidad (U)	Impactos ambientales, mitigación de desechos.

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Estándares Clave	ECSS-M-ST-10	Planificación e Implementación de Proyectos
	ECSS-E-ST-10	Requisitos Generales de Ingeniería de Sistemas
	ECSS-Q-ST-20	Aseguramiento de la Calidad
	ECSS-U-ST-20	Mitigación de Desechos Espaciales
Beneficios	Consistencia	Enfoque uniforme en Europa
	Interoperabilidad	Sistemas y componentes compatibles
	Eficiencia	Optimización y reducción de esfuerzos duplicados
	Cumplimiento	Adaptación a regulaciones internacionales y nacionales
Aplicación	Se aplica a lo largo del ciclo de vida de los proyectos espaciales: desde el concepto hasta la operación.	- Asegurar que todos los aspectos del proyecto cumplan con los estándares establecidos - Garantizar que los proyectos sean gestionados de manera efectiva desde el inicio hasta la operación.
Direcciones Futuras	Actualización continua para abordar nuevos desafíos y avances tecnológicos.	- Adaptarse a los cambios en tecnología y metodologías - Incorporar lecciones aprendidas y nuevas prácticas

La ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW (2016) recopila los requisitos del proceso de ingeniería de sistemas definidos en ECSS-E-ST-10 para la FAC. En particular, la ESA bajo la referencia de ingeniería ECSS personalizada para los proyectos de nano-satélites CubeSat de demostración en órbita denominada TEC-SY/128/2013/SPD/RW, la cual recoge los requisitos sobre el proceso de ingeniería de sistemas definidos en ECSS-E-ST-10; siendo la ECSS-E-ST-10-06 “Especificación técnica”, la ECSS-E-ST-10-02 “Verificación” y la ECSS-E-ST-10-03 “Pruebas” con los requisitos detallados para las pruebas ajustados con los resultados de la revisión posterior a las pruebas (calificación/aceptación, AITP, AIV, etc.), por el comité de ensayos (TRB) reportado en ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, (2016) y ESA, ECSS-E-ST-10C (2009) (ver **Figura 29**).



Figura 29. Generación de pruebas del FACSAT-2



La ESA, ECSS-E-ST-10C (2009), Verificación de requisitos de un producto, establece un plan de: verificación de requisitos -VP, verificación de documento de control -VCD y los informes de prueba (TRPT), de revisión de diseño (RRPT), de inspección, (IRPT) y de verificación (VRPT) de un producto del sistema espacial, desde un equipo hasta el sistema general (incluyendo partes y componentes, el programa del segmento espacial, el segmento terrestre, los lanzadores y sistemas de transporte, las herramientas de verificación y el equipo de soporte en tierra -GSE). El mismo documento incluye el listado de documentos esperados -DRD.

El desarrollo y la operación de proyectos espaciales requieren un riguroso programa de pruebas que asegure la validación, integración y ensamblaje de todos los componentes y sistemas. Este programa debe basarse en normas reconocidas internacionalmente, como las establecidas por la Cooperación Europea para la Estandarización del Espacio (ECSS), específicamente las normas ECSS-E-ST-10-02C para verificación y ECSS-E-ST-10-03C para pruebas. Además, debe incluir acuerdos claros entre el cliente y el operador sobre la aceptación y el rechazo de procedimientos ajustados, así como la coordinación estrecha con el flujo de integración. A continuación, se presenta una tabla que detalla los aspectos clave que deben considerarse en un programa de pruebas integral para proyectos espaciales (ver **Tabla 53**).

Tabla 53. Programa de Pruebas para la Validación, Integración y Ensamble de Cubesats

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN DE NORMAS ECSS
Normas de Referencia	ECSS-E-ST-10-02C Verification: Verificación de sistemas. ECSS-E-ST-10-03C Testing: Pruebas de sistemas.	Se aplicarán en su totalidad, o se adaptarán según el diseño específico del proyecto.
Acuerdos de Aceptación y Rechazo	- Prueba: Mide rendimiento y funciones en entornos simulados representativos. - Análisis de Datos: Métodos estadísticos, variables estándar, requerimientos especiales - Demostración del Desempeño Operativo Cualitativo: Toma y registro de datos - Coordinación con Integración: El programa de pruebas coordina con el flujo de integración. - Pruebas de Integración: Incluye pruebas realizadas durante el flujo de integración para verificar calidad y estado de configuración. - Programa de pruebas: Definición del Plan de Ensamble, Integración y Pruebas (AITP).	Los procedimientos de aceptación y rechazo deben ser acordados entre cliente y operador, conforme a los requisitos de las normas.
Revisión de Normas y Estándares	(ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016) contiene: - 88 estándares de construcción satelital. - 15 normas de cubesats - 17 normas de pruebas de proveedores. - Cumplimiento de especificaciones de (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016)	a. System Engineering b. Electrical Engineering c. Mechanical Engineering d. Software Engineering e. Communications Engineering f. Control Engineering g. Ground System And Operation Engineering
Recomendaciones Experimentales	Incluir recomendaciones de pruebas adicionales basadas en la experiencia experimental.	Las pruebas adicionales se incorporarán en función de las recomendaciones y el avance tecnológico.
Pruebas Adicionales	Incluir pruebas basadas en avances tecnológicos.	Incorporación de nuevas pruebas según el progreso tecnológico.
Validación y Revisión en la Fase D	- Calificación de partes y componentes, diseño, software, integración, y modelo de vuelo. - Validación conforme a pruebas, análisis y documentos de inspección aprobados. - Revisión de 16 normas de Ground System And Operation Engineering del estándar (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016)	Validación en sistemas y subsistemas según las normas y especificaciones de la fase D.

Fuente: Adaptado de ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW (2016).



La implementación de un programa de pruebas es fundamental para asegurar la calidad de los proyectos espaciales. Al la FAC seguir las normas establecidas por la ESA con la ECSS y acordar procedimientos de aceptación y rechazo con su aliado GOMspace, se garantiza que todos los componentes y sistemas funcionen de manera óptima en entornos simulados representativos. Además, la revisión y actualización constantes de las normas y estándares, junto con la incorporación de recomendaciones experimentales y pruebas basadas en avances tecnológicos, aseguran que el programa de pruebas esté alineado con las mejores prácticas y los desarrollos más recientes en la industria espacial. Este enfoque integral no solo mejora la calidad y fiabilidad de los proyectos espaciales, sino que también contribuye a la eficiencia y sostenibilidad a largo plazo de las operaciones espaciales.

La calificación de las partes y componentes, diseño, software, integración y el modelo de vuelo bajo integración y pruebas requiere la validación en los sistemas y subsistemas conforme a la existencia de la prueba, análisis y documentos de inspección aprobados. Para el cumplimiento de la fase D se recomienda incluir la revisión de las 16 normas de la sección Ground System And Operation Engineering, del estándar ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW (2016).

La norma ESA, ECSS-E-ST-10-02C (2009), establece el listado de documentos esperados -DRD que facilita el análisis de las pruebas de calificación de componentes satelitales. Además se recomienda incluir documentaciones y procedimientos complementarios asegurando que todos los aspectos del proceso de prueba sean meticulosamente registrados y evaluados (ver **Tabla 54**).

Tabla 54. Documentación y Procedimientos para Pruebas de Calificación de Componentes Satelitales

REGISTRO	DESCRIPCIÓN	DETALLE
DCB Standard Data Reporting Sheet	Fechas y Lugares	Registro de fechas y ubicaciones.
	Datos del Operador	Información del operador.
	Variaciones	Definidas, anomalías en sitio, problemas del equipo.
	Materiales	Especificaciones, designaciones, P/N, muestra de calibración, fecha de certificación y expiración.

REGISTRO	DESCRIPCIÓN	DETALLE
DCB Standard Data Reporting Sheet	Equipos	Modelo, calibración, etc.
	Condiciones	Producto, accesorios, ambientales y equipo.
	Reportes, Datos y Medidas	Curvas de base y resultantes, tablas, decimales, límites, títulos, etc.
	Comentarios	Observaciones adicionales.
	Descripción de la Prueba	Detalles de la prueba.
	Precisión	Repetibilidad, reproducibilidad, promedios, error.
	Tendencia	Evaluación de tendencias.
	Otros	Cualquier otro aspecto previo a la prueba.
Registro Multimedia	Fotos y vídeos	Se deben de registrar procesos, fallas y avances.
Ley de Murphy	Aplicabilidad de lo que podría ocurrir	Herramienta para anticipar y planificar posibles fallos y problemas, mitigando los riesgos antes de ser problemas graves durante la misión real, para asegurarse de que el sistema sea lo más robusto y fiable posible.
Documentación del Usuario	Guía sistemática para operar, mantener y evaluar los componentes durante las pruebas	Manual del Usuario (Descripción General, Especificaciones Técnicas e Instrucciones de Instalación), Procedimientos de Prueba (Métodos de Prueba, Condiciones de Prueba y Criterios de Aceptación), Registros de Prueba (Formatos de Registro y Datos Relevantes), Plan de Mantenimiento y Calibración (Instrucciones de Mantenimiento y Procedimientos de Calibración), Requisitos de Seguridad (Precauciones de Seguridad y Procedimientos de Emergencia), Informes de Pruebas Anteriores (Historial de Pruebas y Lecciones Aprendidas) y Soporte Técnico (Contactos de Soporte y Documentación de Referencia).
Calificación Técnica de Elementos en Tierra	Serie de pruebas y evaluaciones	Verifica que cada elemento cumpla con los requisitos de diseño, rendimiento y seguridad necesarios para su funcionamiento en el entorno espacial. Las pruebas incluyen condiciones ambientales simuladas, como temperaturas extremas, vacío, radiación, vibraciones y cargas mecánicas.
Justificación del Diseño	Informes de análisis e inspección	Incluir hojas de cálculo.
Informes de Calificación	Formato establecido	Incluir los cálculos, estadísticas del error y el diseño de experimentos.



REGISTRO	DESCRIPCIÓN	DETALLE
Procedimientos de Ensayo	Metodología llevada a cabo	Incluir cualquier anomalía presentada durante la falla, condiciones del medio, alteraciones, combinación de pruebas o mixtas, desempeño, protocolo, etc., necesario para el manejo e interpretación y análisis.

Fuente: Adaptado de ESA, ECSS-E-ST-10-02C (2009).

La documentación y los requisitos necesarios para asegurar la calidad y confiabilidad de los componentes satelitales a través de pruebas de calificación son esenciales para el proyecto satelital. Al seguir estos procedimientos estructurados, se garantiza que cada aspecto del proceso de prueba sea adecuadamente registrado y evaluado, facilitando la identificación y resolución de problemas y asegurando que todas las pruebas cumplan con los estándares y especificaciones requeridas.

La calificación técnica de elementos en tierra es crucial para las misiones espaciales por varias razones: verifica el rendimiento de los componentes en el entorno espacial, identificando y corrigiendo fallos antes del lanzamiento; asegura el cumplimiento de normas internacionales; mitiga riesgos, aumentando la probabilidad de éxito de la misión; y optimiza el diseño al proporcionar datos valiosos para futuros desarrollos.

Para aplicar la Ley de Murphy en el programa de pruebas espaciales, es esencial identificar riesgos potenciales, diseñar pruebas, implementar redundancias, mantener documentación detallada, establecer protocolos para la gestión de fallas, y utilizar simulaciones y modelos predictivos. El análisis de causa raíz y la evaluación continua de los procesos permiten corregir deficiencias y optimizar el rendimiento y la fiabilidad del sistema.

La realización de pruebas se puede agrupar en tres grupos: las de evaluación, que les permite conocer sus características funcionales, útiles para el diseño; las de operatividad y desempeño, que les permite verificar la operación; las de validación, que les permite verificar la precisión de acuerdo con el diseño. Debido a que son muchas, el comité de ensayos, en conjunto con los equipos de trabajo de cada sección, deberán establecer las que deben seguir en función de su operación y de sus cartas de control, Task Card, MSDS, etc., (Rodríguez A., 2019).

Si solo se toma un caso, estructuras y mecanismos, la ESA establece unos parámetros generales, que en la arquitectura de diseño de SE requerido para una condición acorde a la misión y el equipo que la desarrolla, el equipo debe plantear una condición de pruebas comunes como vibración y ensayos de acústica del material y otras no tan comunes como el arreglo de cargas de operación, por su aplicación; se plantea la manufactura y ensamble, con las reacciones del contenedor y el arreglo inducido; transporte y manejo, reacciones de grúa o Dolly, medioambiente; pre-lanzamiento; operaciones de la misión; térmicas, etc., (Firesmith, 2009). Las consideraciones varían de acuerdo con la misión, puesto que la aplicación de la carga útil es la base de todo proyecto espacial. El diseño de un subsistema está ajustado a todos o a uno de los subsistemas del proceso, siendo incluso rediseñada la carga útil (Sellers, 2007). Aunado a esto, las pruebas de operatividad y desempeño siempre se realizarán, ya sea dentro o fuera de la verificación, pero siempre se requerirán incluir en la verificación y margen de operación (Rodríguez A., 2019).

3.7.3 Síntesis

- Es importante indicar que la FAC debe fortalecer sus capacidades el factor humano, en función de la cantidad y su formación, para dar respuesta a las necesidades de la misión espacial FACSAT-2; principalmente, en áreas de conocimientos de sistemas de ingeniería, software, pruebas y ensayos, control calidad y aseguramiento, ya que se debe consolidar un equipo de especialistas suficiente y con los conocimientos base que permita apropiar la transferencia de conocimiento y tecnologías entregados por los expertos aliados.
- El análisis tecnológico de la misión FACSAT-2 se estructura en torno a dos aspectos principales: los sistemas y subsistemas del CubeSat y las herramientas y equipos necesarios para el proyecto. Un CubeSat se compone de la plataforma (bus) y la carga útil (payload). La plataforma incluye subsistemas críticos como el estructural, de comunicaciones y telemetría, de determinación de actitud y control (ADCS), de computadora a bordo (OBC), térmico, de potencia eléctrica (EPS) y la carga útil, cada uno con funciones específicas que garantizan el correcto funcionamiento del satélite y el cumplimiento de su misión.
- La infraestructura instalada para la misión FACSAT-2 en el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) incluye laboratorios especializados en electrónica, simulación, desarrollo de producto, design thinking, materiales y una estación de comando y control. Estos laboratorios, clasificados y equipados



bajo estándares internacionales, son suficientes para el ensamble de nanosatélites. Sin embargo, no cumplen con la capacidad requerida para desarrollar integración y pruebas de verificación de este tipo de satélites como se establece en los estándares internacionales establecidas por la Cooperación Europea para la Estandarización del Espacio (ECSS), específicamente las normas ECSS-E-ST-10-02C para verificación y ECSS-E-ST-10-03C para pruebas.



4. ANÁLISIS ECONÓMICO





El análisis económico del proyecto FACSAT-2 revela una perspectiva integral que va más allá de la evaluación financiera, considerando también el impacto estratégico y el potencial de innovación del proyecto. A medida que se avanza en la misión, es crucial revisar y optimizar distintos aspectos financieros y operativos para asegurar su viabilidad y sostenibilidad.

Los siguientes puntos destacan áreas clave para mejorar continuamente y maximizar el rendimiento del programa FACSAT, que no solo corresponde al desarrollo del satélite FACSAT-2.

La evaluación económica revela que, a pesar de una alta rotación de activos en años específicos, la tendencia general a la baja en la capacidad de utilización sugiere la necesidad de realizar auditorías periódicas y actualizar los activos. La disminución del Retorno sobre la Inversión (ROI), que cae de 24,17 % a 9,49 %, indica una menor efectividad de las inversiones, subrayando la importancia de ajustar la inversión en proyectos menos rentables y explorar nuevas oportunidades. Aunque el capital de trabajo es sólido y el endeudamiento total se reduce, la dependencia de deuda a corto plazo representa un riesgo, por lo que se recomienda diversificar las fuentes de financiamiento y buscar asociaciones estratégicas. Además, la disminución en la Rentabilidad del Patrimonio (ROE), que baja de 24,50 % a 9,71 %, refleja una menor eficiencia en el uso del capital, destacando la necesidad de mejorar la gestión del capital y revisar la estructura de capital. A pesar de la mejora en liquidez y solidez, es crucial mantener un sistema de monitoreo financiero continuo y ajustar las estrategias en función de análisis periódicos de riesgo para asegurar la estabilidad y el éxito a largo plazo del programa.

El Programa de Transferencia de Conocimiento con GOMspace es fundamental para el desarrollo del sector espacial en Colombia, consolidando capacidades en la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y promoviendo la innovación tecnológica. Con una inversión anual de \$ 548,997,361, el programa logró avances como la resolución satelital de 4.75 m/pixel (GSD), 103 productos científicos y la creación de 90 empleos. Con un Retorno de Inversión (ROI) del 55.16 %, el programa demuestra un impacto positivo en la industria local y en el progreso espacial. La viabilidad económica del FACSAT-2, reforzada por técnicas innovadoras y un enfoque en la innovación tecnológica, destaca su importancia estratégica y su capacidad para contribuir al avance del sector espacial y otros sectores estratégicos del país.

IV. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis se centra en expresar términos monetarios las determinaciones del Análisis de factibilidad técnica de la misión espacial FACSAT-2, incluyendo aspectos operativos, estratégicos y legales, con el fin de evaluar la rentabilidad del proyecto, considerando inversiones, gastos, costos, ingresos y ahorros generados. En este análisis se toman decisiones clave, como la cantidad necesaria de insumos y suministros, la mano de obra directa e indirecta, el personal administrativo, así como el número y capacidad de equipos y maquinaria requeridos para el ensamblaje de satélites y las pruebas de laboratorio realizadas. Además, se ponderan los beneficios tanto tangibles como intangibles, siguiendo el enfoque propuesto por Baca Urbina (2010, p. 138). La **Figura 30** proporciona una visión integral del panorama económico del proyecto mostrando una relación directa con el estudio (Villegas, 1997; Rojas López, 2007; Ross, Westerfield, & Jaffe, 2012).

Figura 30. Esquema de Factibilidad de un proyecto



Fuente: Adaptado de (Villegas, 1997; Rojas López, 2007; Ross, Westerfield, & Jaffe, 2012).

Este análisis se enfoca en el análisis del estado de resultados, un balance contable, un flujo de caja libre, el valor presente neto, la tasa interna de retorno del proyecto, el cálculo de la tasa interna de oportunidad conforme a los parámetros establecidos para la FAC, el periodo de recuperación y el punto de equilibrio.



El proyecto incluye la simulación de escenarios económicos, teniendo en cuenta variables críticas como la tasa representativa del mercado, para evaluar la viabilidad económica en medio de la incertidumbre de éste. La proyección de resultados empleó un horizonte de planeación de cinco y diez años, respectivamente, basándose en la visión estratégica de la FAC hasta el año 2042.

Como señala Baca Urbina (2007, p. 92), el análisis de viabilidad económica se llevó a cabo utilizando técnicas de evaluación de inversiones adaptadas a las particularidades del proyecto. En el ámbito económico y financiero, es fundamental considerar la presencia de una tasa mínima aceptable de rendimiento como un parámetro esencial. Durante el proceso de evaluación de inversiones, se emplean herramientas para analizar la viabilidad y rentabilidad de las inversiones, tales como el flujo de caja libre y los indicadores de tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), periodo de recuperación (PR), el método de la razón beneficio-costos (B/C) y el punto de equilibrio contable.

Se espera que los resultados obtenidos respalden las decisiones tomadas por la FAC, generando confianza en la trayectoria seguida en la adquisición de activos espaciales y fortaleciendo la industria aeroespacial. Además, se espera que este progreso en términos de adquisición de capacidades y activos impulse el desarrollo de normativas y regulaciones a nivel nacional para respaldar y fomentar el crecimiento continuo de la industria (Van Horne & Wachowicz, 2010).

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO

Para llevar a cabo el estudio, se consideraron diversos requerimientos tanto funcionales como no funcionales que alimentarían el modelo, estableciendo además de las variables de estudio, las restricciones y valoraciones fijas. En la **Tabla 55**, se presentan las consideraciones generales que se tomaron en cuenta en el desarrollo del modelo.

Tabla 55. Consideraciones generales del modelo

CATEGORÍA		DESCRIPCIÓN
Políticas administrativas y financieras		Políticas y regulaciones relacionadas con la administración y las finanzas del proyecto.
Proyección de variables macroeconómicas		Estimación de las principales variables económicas a nivel macro que impactan el proyecto.
Ficha técnica del satélite		Especificaciones técnicas detalladas del satélite.
Proyección de ingresos generados		Cálculo de los ingresos derivados del procesamiento de imágenes y metadatos satelitales.
Proyección de costos de desarrollo	Estimación de los costos asociados al ensamblaje y fabricación del satélite.	
	Infraestructura utilizada	Necesaria para la operación del proyecto.
	Laboratorios	Utilizados en el proceso de desarrollo y pruebas del proyecto.
	Licenciamientos	Costos y requisitos
	Certificaciones	Procedimientos de certificación y cumplimiento normativo.
	Otros	Doctrina y organización, Materiales e Insumos, Equipos, Personal, Infraestructura, Gastos de administración.
Proyecciones económicas y financieras	Proyección de ahorros generados	Estimación de los ahorros resultantes de las capacidades adquiridas por el proyecto.
	Inversiones	Capital invertido en el proyecto, incluyendo gastos de adquisición y desarrollo.
	Amortizaciones	Relacionadas con la inversión en el proyecto.
	Costos de operación	Gastos relacionados con la operación continua del proyecto una vez en funcionamiento.
	Costos fijos de operación y funcionamiento	Gastos fijos recurrentes necesarios para el funcionamiento regular del proyecto.
	Costos de mano de obra	Gastos asociados a la mano de obra empleada en el proyecto.
	Estado de resultados	Información financiera con ingresos, gastos y utilidades.
	Balance General	Activos, pasivos y patrimonio del proyecto en un momento dado.
	Flujo de caja libre	Reporte financiero que muestra las entradas y salidas de efectivo del proyecto.



Estas consideraciones permiten evaluar la viabilidad económica del proyecto, proporcionaron datos para los análisis financiero y económico de la misión espacial. Cada uno de estos aspectos fue evaluado para garantizar una comprensión completa de los costos, ingresos, y beneficios asociados con el desarrollo y operación del satélite (Blank & Tarquin, 2006), (Van Horne & Wachowicz, 2010), tecnológica (OECD, 2020), (Coutinho, Cretan, & Jardim-Goncalves, 2013).

4.2 POLÍTICAS ADMINISTRATIVAS Y FINANCIERAS

Para el desarrollo de las políticas administrativas y financieras se tomó como base la información gubernamental suministrada, de acuerdo con las disposiciones actuales establecidas en la ley.

Se consideró un valor estándar para la carga prestacional, el Impuesto al Valor Agregado (IVA), la tasa de impuestos y la reserva legal, de acuerdo con las normativas gubernamentales que regulan estas tasas. Asimismo, para determinar el valor del dólar, se utiliza la tasa representativa del mercado en el momento de la adquisición de los materiales utilizados en el ensamblaje de satélites dentro del Programa FACSAT. Además, los costos netos de adquisición de materiales, insumos y suministros incluyen valores como el flete de transporte internacional, los gastos de nacionalización y el transporte nacional.

La tasa de utilidad se calcula con base en los resultados de los ahorros generados por el proyecto, considerando tanto los ingresos como los ahorros obtenidos. Este enfoque proporciona una perspectiva precisa y ajustada a la realidad económica y gubernamental, permitiendo una evaluación fundamentada de la viabilidad financiera del proyecto espacial (Court, 2009; Cuevas Villegas, 2010; Ehrhardt & Brigham, 2007).

4.3 PROYECCIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES MACROECONÓMICAS

El estudio económico consideró un horizonte de proyección de cinco (5) y diez (10) años a partir del año 2022, teniendo en cuenta varias variables macroeconómicas esenciales para la evaluación financiera del proyecto, tales como:

- **Índice de precios al consumidor (IPC) o inflación al consumidor:** Se estableció utilizando las proyecciones del gobierno nacional, basándose en el índice del mes de enero del 2023, que fue del 5.62 %.

- **Índice de precios al productor (IPP) o inflación al productor:** Esta tasa se aplicó a las empresas del sector y se proyectó según las directrices del gobierno nacional, partiendo de un 8.18 %.
- **Devaluación del 43.5 %:** Se consideró este índice para evaluar el impacto de la devaluación en el proyecto.
- **Tasa representativa del mercado (TRM):** Esta tasa se estableció en función del precio de compra de los materiales, insumos y suministros utilizados en el Programa FACSAT, siendo de US\$ 3,500. Se realizó una prueba de simulación para determinar la probabilidad de confianza del proyecto y sus variables económicas.
- **Valor del satélite:** Se determinó a través de cotizaciones obtenidas de diferentes empresas especializadas, desglosando el valor neto y considerando los costos adicionales por transporte e impuestos.
- **Precio de las imágenes y metadatos:** Se estableció mediante cotizaciones de diversos proveedores que ofrecen este servicio en SECOP II (Agencia Nacional de Contratación Pública) de los tres últimos años. Teniendo en cuenta las características específicas de las imágenes generadas por el Programa FACSAT 5 m/Píxel y los datos proyectados por el CONPES 3983 (2020) (CCE, 2020).
- **Tasa de crecimiento:** Esta tasa se definió a partir del análisis del mercado, permitiendo evaluar las perspectivas de crecimiento a medida que se desarrolla el proyecto. Estas variables proporcionan un marco sólido para la evaluación económica del proyecto, considerando tanto los costos como los ingresos proyectados.

4.4 SIMULACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS

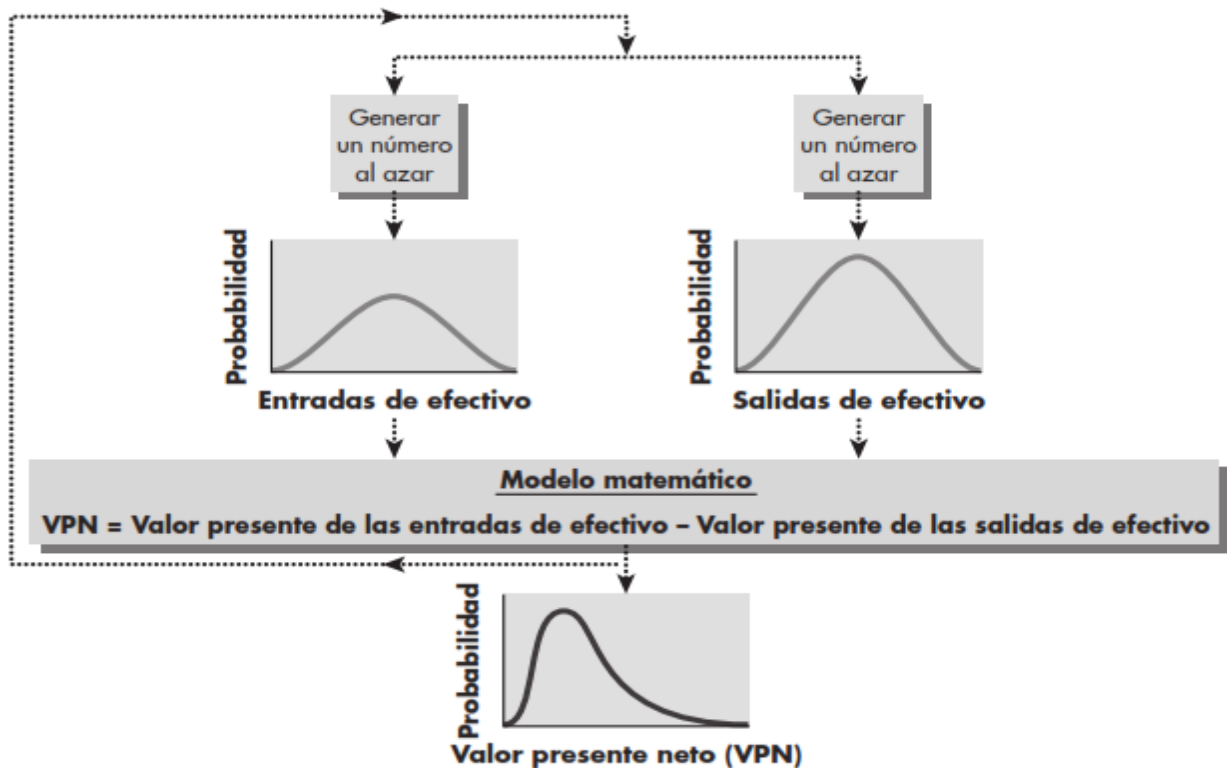
La utilización de la técnica de Simulación de Monte Carlo permite analizar el proyecto, considerando variables críticas que impactan su desarrollo y resultados. Esta técnica, que toma su nombre del famoso casino europeo, evalúa los proyectos de manera similar a los juegos de azar, considerando la probabilidad de ocurrencia del evento y su nivel de incertidumbre (Ross, Westerfield, & Jaffe, 2012, p. 214). En esencia, la simulación emplea distribuciones de probabilidad específicas para estimar los resultados riesgosos, basándose en estadísticas y comportamientos (Gitman & Zutter, 2012, p. 416).

Siguiendo este enfoque, se utilizan distribuciones de probabilidad de las variables críticas del proyecto para simular entradas y salidas de efectivo de manera aleatoria.

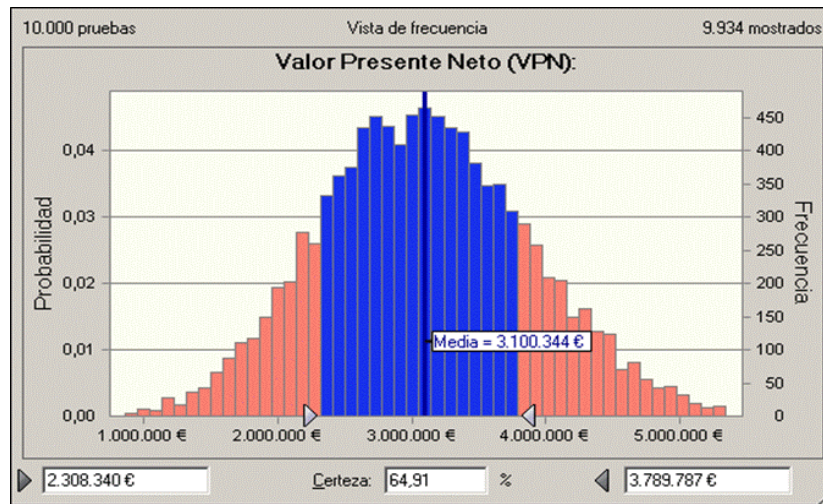


Este proceso aleatorio se repite miles de veces para obtener diferentes valores del VPN (Valor Presente Neto) del proyecto. Al repetir el proceso, se generan múltiples valores del VPN, permitiendo conocer su distribución y determinar los intervalos de confianza necesarios, así como su probabilidad de ocurrencia (Gitman & Zutter, 2012, p. 416). La **Figura 31** ilustra este proceso detallado.

Figura 31. Diagrama de flujo de una simulación del Valor Presente Neto



Fuente: Adaptado de Gitman & Zutter (2012, p. 416)

Figura 32. Valor Presente Neto simulado, a través, de Crisall Ball

Fuente: <https://www.eumed.net/ce/2013/exito.html>

La variable crítica más relevante para el desarrollo del proyecto es la tasa representativa del mercado (TRM). Se realizó una prueba de Anderson-Darling para determinar el tipo de distribución que mejor se ajusta a esta variable. En la **Figura 33** se muestran los resultados de la proyección del TRM de los últimos diez (10) años en Colombia.

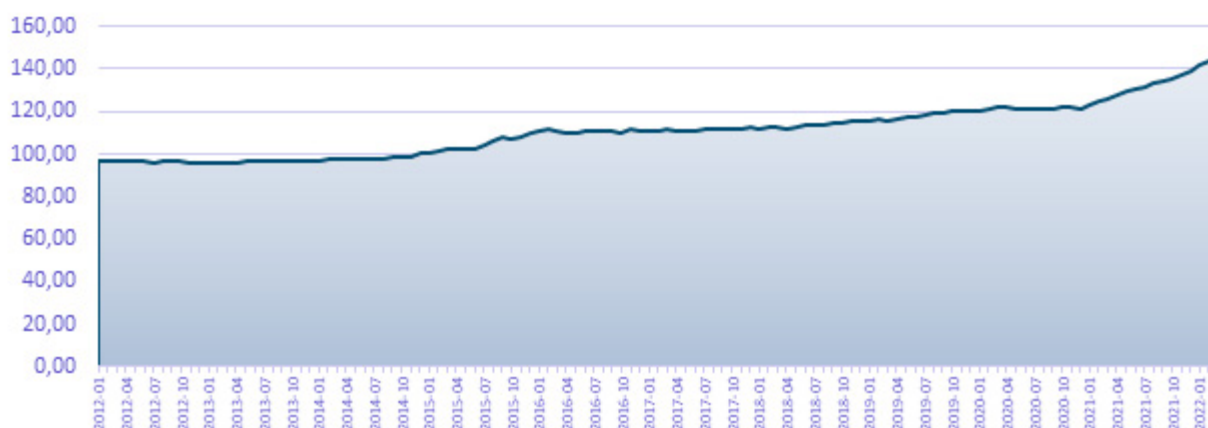
Figura 33. Valor TRM de los últimos 10 años en Colombia

Fuente: <https://www.dolar-colombia.com/>



Otra variable macroeconómica clave en el proceso de simulación y proyecciones económicas y financieras es el Índice de precios al productor (IPP). Se llevó a cabo un análisis del IPP de las industrias manufactureras específicas relacionadas con el tipo de proyecto. La **Figura 34** muestra la evolución del IPP desde el 1 de enero de 2012 hasta el 31 de diciembre de 2021.

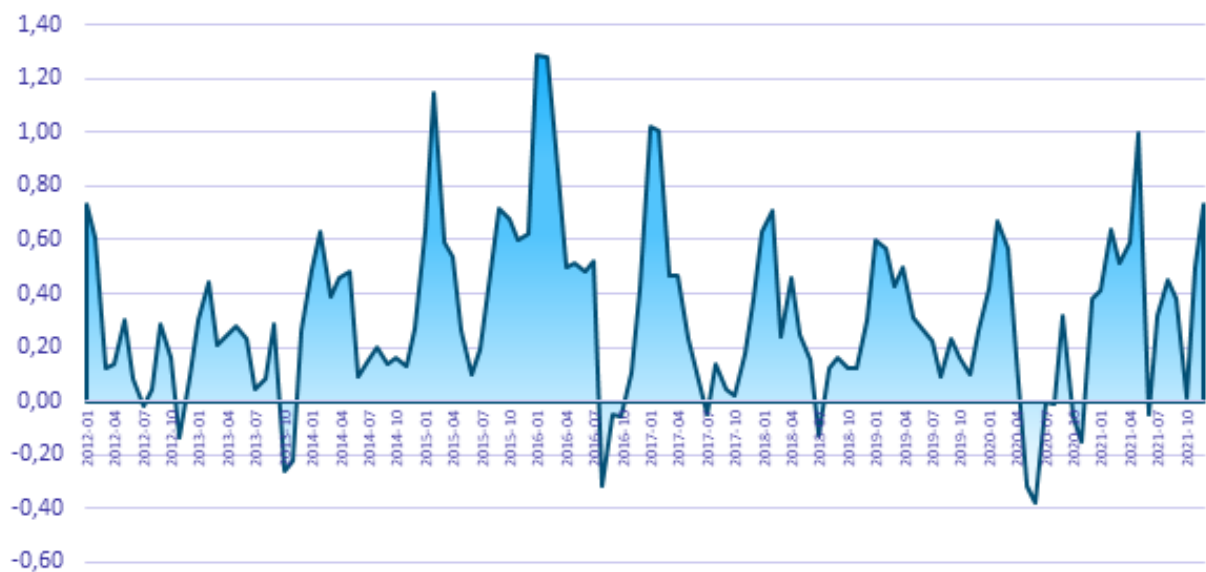
Figura 34. Valor del IPP de los últimos 10 años en Colombia



Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (www.dane.gov.co) - Banco de la República - Gerencia Técnica - información extraída de la bodega de datos -Serankua- el 22/04/2022 10:28:43. (<http://www.banrep.gov.co>, s.f.)

De igual manera, se realizó el análisis del índice de precios al consumidor (IPC), tomando como punto de partida los 10 años históricos considerados. La **Figura 35** refleja el comportamiento del índice de precios al consumidor desde el 1 de enero del 2012 al 31 de diciembre del 2021.

Figura 35. Valor del IPC de los últimos 10 años en Colombia



Fuente: <https://www.consultorcontable.com/datos-hist%C3%B3ricos/ipc-historico>

Se identificaron variables críticas fundamentales que inciden en los resultados obtenidos de las variables financieras. La **Tabla 56** presenta los resultados propuestos para la simulación.

Tabla 56. Parámetros de las variables críticas de simulación

VARIABLES CRITICAS DEFINIDAS	VALOR (%)		
	MÍNIMO	PROBABLE	MÁXIMO
Costos de Administración y Ventas	4,50	5,00	10,00
Nacionalización y Flete de Transporte Internacional	5,00	8,00	10,00
Utilidad Venta Nacional	20,00	30,00	40,00
Utilidad Venta internacional	25,00	30,00	40,00



4.4.1 Análisis del riesgo e incertidumbre: la necesidad de administrar el riesgo

Los riesgos financieros son cada vez más volátiles, con eventos como crisis financieras, desastres naturales y ataques terroristas que, aunque poco probables, tienen un alto impacto en las inversiones empresariales. Ejemplos históricos incluyen el Lunes Negro de 1987, la crisis financiera japonesa (1989-1992), la crisis asiática de 1997, el atentado del 11 de septiembre de 2001, la crisis hipotecaria de EE.UU. (2007), y desastres naturales como los terremotos en Haití y Chile (2010) y el fenómeno de El Niño en Colombia (2011) (Jara Padilla & Melgar Chamorro, 2007, p. 5).

Contar con herramientas que permitan realizar predicciones precisas en un proceso dinámico y adaptativo facilita el reconocimiento de los comportamientos de las variables generadoras de incertidumbre. Esto implica analizar sus patrones de actuación y determinar su probabilidad de ocurrencia, lo que las convierte en riesgos gestionables. A partir de este análisis, es posible diseñar planes de acción complementarios para reducir la probabilidad de ocurrencia de estos riesgos y mitigar sus efectos potenciales (Betancur Ríos, Calle López & Herrera Muñoz, 2005, p. 51).

A continuación, se presentan las tres (3) medidas de riesgo financiero utilizadas:

1. **El valor presente neto en riesgo (VPN en Riesgo):** Se han propuesto varios enfoques y entre ellos el de F. S. Hillier en 1963, el cual parte de las técnicas de investigación de operaciones. Su enfoque propone un manejo de tipo analítico para tratar el problema de inversiones bajo riesgo, a partir del conocimiento de las distribuciones de probabilidad de las diferentes variables que conforman el flujo de caja y que están involucradas en el cálculo del VPN, de tal forma que se pueda determinar la función de distribución de éste (Betancur Ríos, Calle López, & Herrera Muñoz, 2005, p. 64).

Este método hace uso del teorema del límite central de la estadística y afirma que la distribución del VPN es aproximadamente normal e inclusive cuando las distribuciones de las variables que incluye en su cálculo no lo sean. El método busca enfrentar al tomador de la decisión con las diferentes probabilidades de obtener distintos valores del VPN de una inversión y, más específicamente, con la probabilidad de que el VPN sea menor que cero o sea la probabilidad de fracasar. De acuerdo con el método se tiene que Betancur Ríos, Calle López, & Herrera Muñoz (2005, p. 65).

El valor esperado del VPN, $E(VPN)$, es la sumatoria de los valores esperados de los flujos netos futuros producidos por el proyecto de inversión ($E(Ft)$), descontados con una tasa de descuento (i) que representa la rentabilidad mínima esperada por el inversionista,

$$E(VPN) = \sum \frac{E(Ft)}{(1+i)^t} \quad (1)$$

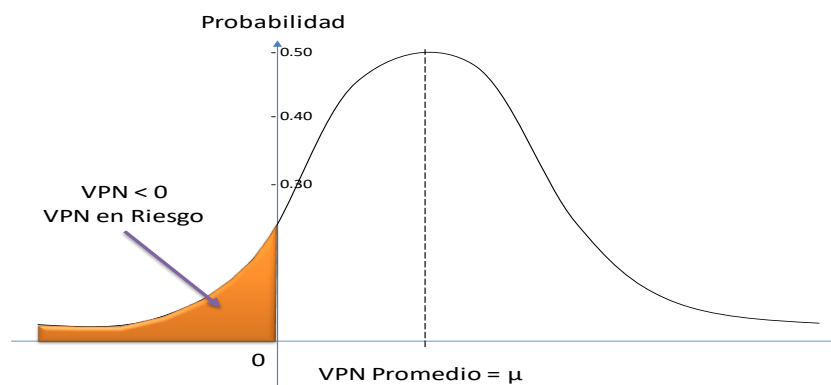
y, la varianza de VPN será:

$$\sigma^2(VPN) = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{\sigma^2(Ft)}{(1+i)^{2t}} \quad (2)$$

La distribución del VPN tiende a ser normal y con estos parámetros se calcula la probabilidad del fracaso o que el VPN sea menor que cero. Sin embargo, resolver en forma analítica este problema puede ser bastante complejo desde el punto de vista numérico y requerirá de herramientas diferentes para su solución tales como la Simulación de Montecarlo o del uso de software especializado tal como el *Crystal Ball™*, *@Risk* o *Simular*.

Teniendo en cuenta lo anterior, el uso del VPN de los EVA en riesgo (MVA) supone dos posibilidades de análisis, una es la de tener valores mayores ($>$) a cero (0) bajo un nivel de confianza deseado por el decisor, la otra alternativa es que el nivel de confianza calculado para un valor del VPN en riesgo igual a cero, es mayor o igual que el nivel de confianza predeterminado por el decisor.

De acuerdo con esto, se calcula el VPN de los EVA para un nivel de confianza, diferente de calcular un nivel de confianza para un VPN de los EVA >0 , definiendo el VPN de los EVA como el área bajo la curva entre $-\infty$ y $VPN\alpha$. Por otra parte, el nivel de confianza para un VPN de los EVA $=0$ se obtiene mediante la integración entre $-\infty$ y cero (0) sobre la función de densidad de probabilidad (ver **Figura 36**).

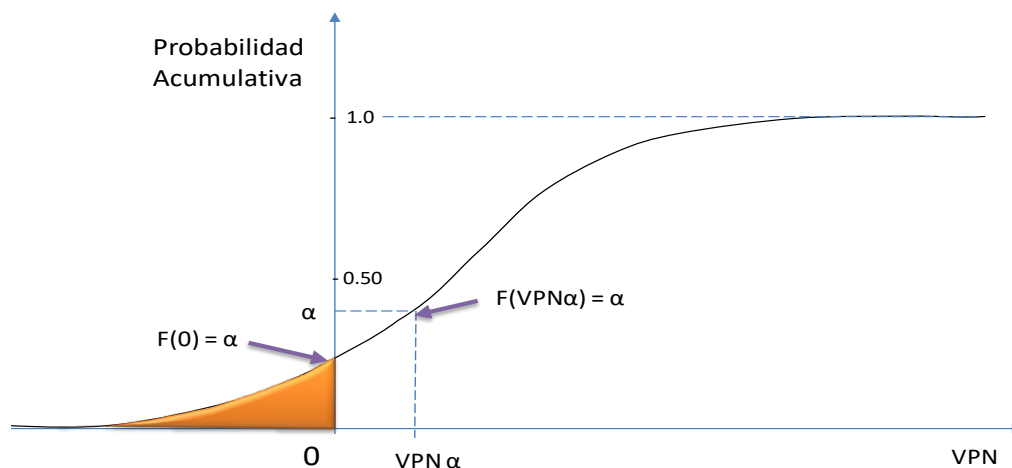
**Figura 36.** Valor presente neto en riesgo

Fuente: Adaptada de Manotas Duque y Toro Díaz, “Material de Clase: Evaluación de proyectos utilizando el criterio Valor Presente Neto en Riesgo (VPN en Riesgo)” (2008, p. 204).

El VPN en riesgo se define como:

$$VPN \text{ en riesgo} = VPN_{medio} - z(\alpha) \cdot \sigma \quad (3)$$

A su vez plantea Manotas Duque (2008) que, asumiendo la función de distribución acumulativa del medidor es $F(VPN)$, el VPN de los EVA en riesgo para un nivel de confianza ∞ y el nivel de confianza para el VPN de los EVA = 0, puede obtenerse mediante el análisis de percentiles (ver **Figura 37**).

Figura 37. Estimación del VPN en riesgo y el nivel de confianza

Fuente: Adaptada de Manotas Duque y Toro Díaz, “Material de Clase: Evaluación de proyectos utilizando el criterio Valor Presente Neto en Riesgo (VPN en Riesgo)” (2008, p. 205).

La simulación Montecarlo permite actuar bajo el desconocimiento de la distribución de los VPN de los EVA y de la distribución acumulativa de los mismos. Mediante esta técnica se permite generar múltiples escenarios que acerquen al conocimiento de la distribución de probabilidad del indicador (VPN del proyecto), a partir de diferentes muestras que se toman para las variables de entrada definidas mediante una función de distribución dada o ajustada a partir de datos históricos. El proceso de generación se repite tantas veces como sea necesario. Los resultados $VPN_1, VPN_2, \dots, VPN_i$, se ordenan en forma ascendente y de esta manera obtener la función de distribución acumulativa. La función de distribución puede ser estimada a partir de la distribución empírica (Manotas Duque & Toro Díaz, 2008, p. 14):

$$F_n(VPN) = \frac{(\#VPN_t \leq VPN)}{n} \quad (4)$$

Lo cual corresponde a la frecuencia relativa del VPN, donde $\#VPN$ es el número de resultados del VPN_i obtenidos de la simulación que son menores que un valor de VPN específico. Así mismo el VPN en riesgo para un nivel de confianza dado, puede ser calculado mediante el percentil correspondiente.

$$F_n^{-1}(\alpha) = VPN_\alpha \quad (5)$$

El nivel de confianza para que el $VPN=0$ se calcula mediante la probabilidad de que el VPN sea menor o igual a cero.

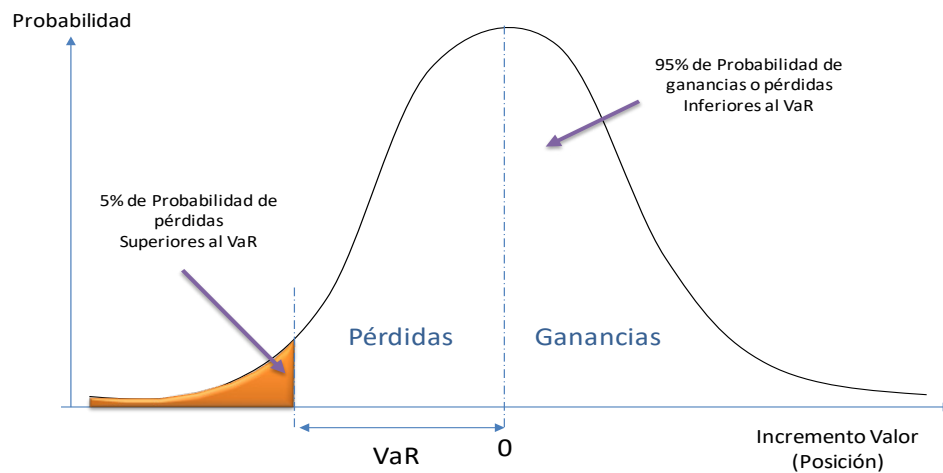
$$P(VPN \leq 0), \text{ es decir, } F_n(0) = \frac{(\#VPN_t \leq 0)}{n} \quad (6)$$

2. **El valor en riesgo (VeR o VaR):** Otra medida de desempeño financiero es el VaR^{13} (Valor en Riesgo), ya que proveen un criterio de decisión y además un nivel de confianza, de modo que es un buen punto de partida como una medida del riesgo de tipo estadístico (Mascareñas, 2008, p. 2). El valor en riesgo es la máxima pérdida esperada dado un cierto nivel de confianza, en contraste al VPN en riesgo, el cual se define como la riqueza mínima esperada bajo un cierto nivel de confianza (Manotas Duque & Toro Díaz, 2008, p. 12). Como lo muestra **Figura 38**, ubicados en el percentil 5 el VPN toma un valor que indicará la máxima pérdida esperada con un nivel de confianza del 95 % (VaR), o lo que es lo mismo, que exista un 5 % de probabilidad de tener como pérdida la indicada en el VaR o superiores.

13 VaR, sigla de Value at Risk.



Figura 38. VaR en Riesgo para un nivel de confianza estadísticas del 95 %



Fuente: Adaptado de Feria Domínguez & Oliver Alfonso (2006, p. 69).

Jara Padilla & Melgar Chamorro (2007) lo definen como la máxima pérdida esperada de una posición estable de activos en condiciones normales de mercado para un horizonte y nivel de significancia determinado. El resultado del análisis es un único número, el VaR, que es una predicción de cuánto valor puede perder un inversionista, bajo condiciones normales de mercado, para un horizonte temporal determinado, una probabilidad específica y una cierta moneda de referencia (Garcés Ruiz & Gómez Carmona, 2007).

El Banco de La República de Colombia definió el VaR como el α - ésimo cuantil de la distribución de pérdidas y ganancias de un activo (Melo Velandia & Camargo Becerra, 2004, p. 7). Desde el punto de vista de formulación se define como (Alonso & Semaán, 2009, p. 4):

O lo que es equivalente a:

$$P(z_{t+1} < VaR_{t+1}) = \alpha \quad (7)$$

O lo que es equivalente a:

$$VaR_x = F_x^{-1}(\alpha) \quad (8)$$

Teniendo en cuenta la definición anterior, los principales elementos del VaR son, según Jara Padilla y Melgar Chamorro (2007, p. 8) y Mascareñas (2008, p. 2):

- El Nivel de Confianza (α): La elección del nivel de confianza (50 %, 90 %, 95 %, 99 %) dependerá de la funcionalidad del modelo y de la distribución de probabilidad asumida, esto significa que a mayor nivel de confianza se requiera de un capital elevado para cubrir las posibles pérdidas. Para fines regulatorios (Comité de Basilea, 1995), se sugiere utilizar un nivel de confianza elevado (99 %) dado que el regulador deseará mantener un sistema financiero sano.
- Un plazo, o unidad de tiempo, al cual va referido la estimación.
- Una moneda de referencia.
- Una suposición común es la distribución normal de la variable analizada, lo que facilita la representación de todas las observaciones mediante la icónica curva de campana de Gauss, permitiendo la aplicación de propiedades estadísticas asociadas a esta distribución (Feria Domínguez, 2004).
- Una metodología de estimación.

El Valor en Riesgo (VaR) ha demostrado su importancia y utilidad a lo largo de varios años, como se ha señalado en estudios anteriores (Jara Padilla y Melgar Chamorro, 2007, p. 9; Feria Domínguez y Oliver Alfonso, 2006; Melo Velandia y Camargo Becerra, 2004, p. 19).

- Universalidad del Riesgo:** El VaR puede aplicarse a cualquier tipo de activo o fuente de riesgo, lo que lo convierte en una medida de riesgo universal.
- Comparación y Límites al Riesgo:** Permite establecer comparaciones y límites al riesgo asumido. Facilita la comparación y agregación directa de diversas posiciones de riesgo, proporcionando una medida común aplicable a una amplia variedad de posiciones y categorías de riesgo.
- Utilidad para la Alta Gerencia y Reguladores:** Brinda a la alta gerencia y a los reguladores un indicador claro del riesgo de las operaciones de mercado e inversión expresado en términos monetarios, facilitando su comprensión.
- Fijación de Límites al Riesgo:** Permite establecer límites al riesgo asumido por los operadores, lo que posibilita la implementación de medidas correctivas en caso de exceder esos límites.
- Simplicidad y Completitud:** Resume todas las posibles fuentes de riesgo de mercado existentes en una inversión en un solo número en unidades monetarias, lo que lo convierte en una medida completa y sencilla.
- Identificación de Posiciones de Alto Riesgo:** A través del cálculo de VaR's incrementales, permite descubrir las posiciones que contribuyen más al riesgo total, lo que ayuda en la identificación de las áreas de mayor riesgo en una cartera de inversiones.

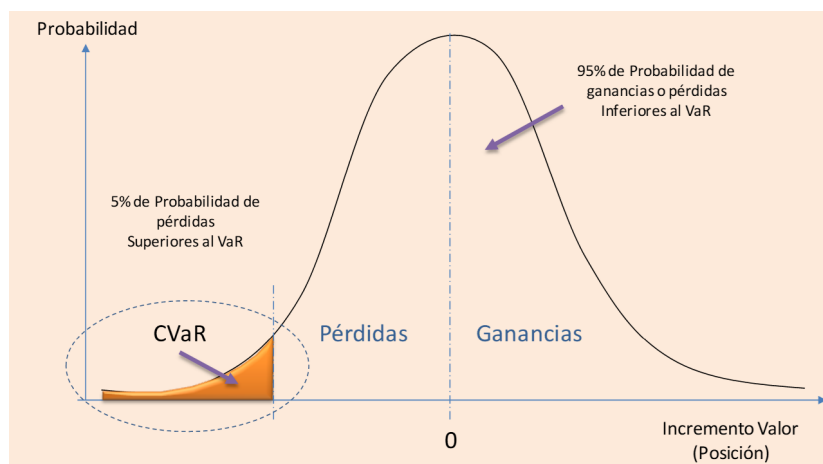


A pesar de su popularidad en la gestión del riesgo desde 1996, el Valor en Riesgo (VaR) ha enfrentado críticas significativas cuando las distribuciones de pérdidas no siguen una distribución “normal”, dado que el VaR está directamente relacionado con la desviación estándar en una distribución normal (Jara Padilla y Melgar Chamorro, 2007, p. 6; Martín Mato, 2009, p. 3). Estas críticas surgen debido a problemas de subaditividad y convexidad provocados por colas largas o la falta de continuidad en las distribuciones (Martín Mato, 2009, p. 3; Melo Velandia y Camargo Becerra, 2004, p. 20).

3. **El valor en riesgo condicional (CVaR):** Debido a los inconvenientes ya nombrados con relación a las características indeseables del VaR, como la falta de sub aditividad y de convexidad, emerge otra medida de riesgo bajo incertidumbre que es el Valor en Riesgo Condicional (CVaR), medida aportada por Rockafellar & Uryasev (2002, p. 6), (Martín Mato, 2009, p. 3; Jara Padilla & Melgar Chamorro, 2007, p. 13).

Esta métrica es alternativa al VAR y se define como la media de las pérdidas respecto a un nivel de probabilidad α %, en un horizonte de tiempo determinado, es decir, las pérdidas esperadas que pueden darse con esa probabilidad (Martín Mato, 2009, p. 2). En consecuencia, el valor del VaR no será nunca mayor del CVaR, por ello, análisis con bajos valores de CVaR, tendrán un VaR aún menor (Jara Padilla & Melgar Chamorro, 2007, p. 13). Se define gráficamente el CVaR según la distribución de pérdidas, tal como lo muestra la **Figura 39**.

Figura 39. Representación del CVaR



Fuente: Adaptado de Jara Padilla & Melgar Chamorro (2007, p. 13).

De acuerdo con Rockafellar & Uryasev (2002) el VaR presenta problemas de inestabilidad y no convexidad, siendo solo coherente cuando está basado en distribuciones continuas normalizadas (ya que para una distribución normal el VaR es proporcional a la desviación estándar) (Jara Padilla & Melgar Chamorro, 2007). En este caso trabajar con el VaR o con el CVaR es equivalente (Martín Mato, 2009, p. 3).

El CVaR es un indicador más conservador que el VaR y puede hacer frente a una mayor cantidad de posibles pérdidas, debido a sus propiedades de homogeneidad positiva, sub aditividad, mono tonicidad e invarianza transicional, en comparación al VaR (Jara Padilla & Melgar Chamorro, 2007, p. 13).

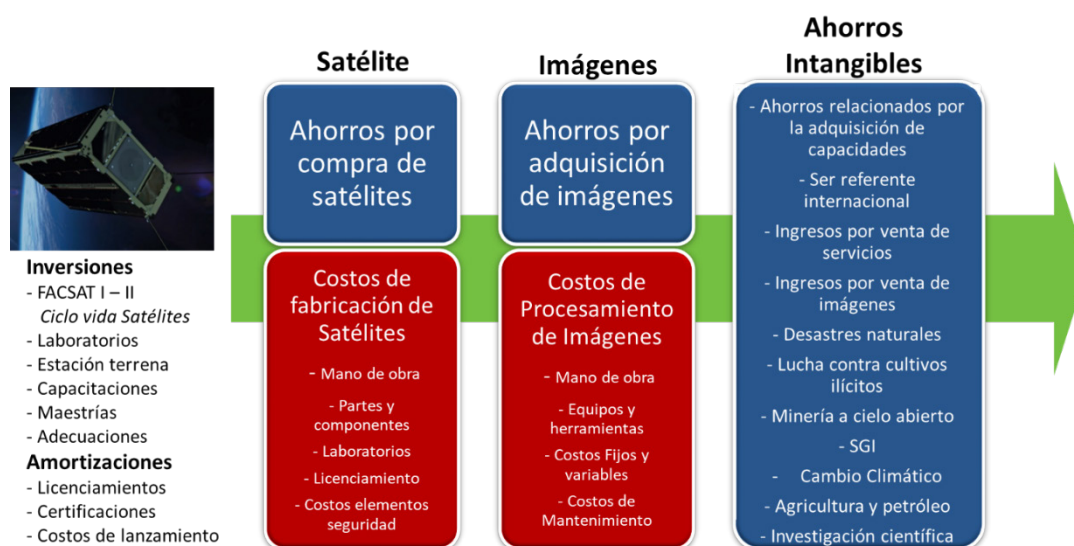
En el año 2001 Artzner, Delbaen Ebert & Heath, identificaron el CVaR con el nombre de Expected Shortfall (ES), definiéndolo como el valor esperado de la pérdida, dado que ésta es mayor que el VaR (Melo Velandia & Camargo Becerra, 2004, p. 20).

$$ES_{\alpha} = E(r \mid r > VaR_{\alpha}) \quad (9)$$

En la práctica, el ES corresponde al promedio de los $(1-\alpha)$ 100 % peores casos y se calcula, a través, del promedio de los valores que exceden el VaR con un nivel de confianza de α .

4.5 PROYECCIÓN DE INGRESOS GENERADOS

Con relación a la proyección de ingresos y teniendo en cuenta los beneficios tangibles e intangibles que el Programa FACSAT genera, la **Figura 40** en la que se presenta esquemáticamente el flujo de caja del proyecto.

**Figura 40.** Esquema Flujo de Caja del Programa FACSAT

La proyección de ingresos se divide en tres (3) grandes Subproductos:

- **Procesamiento y generación de imágenes y metadatos:**

Uno de los principales beneficios del Programa FACSAT I y II es la generación de imágenes y metadatos, los cuales deben ser procesados para su respectiva operación y uso. Dentro de los ahorros e ingresos que se consideraran para el estudio de factibilidad económica y financiera es la comercialización o venta de estas imágenes y metadatos, los cuales son utilizados por múltiples organismos y entidades a nivel nacional. Para determinar los ahorros e ingresos generados se realizará un estudio con respecto a las necesidades y aplicaciones por parte de las entidades y organizaciones, tanto públicas como privadas que utilizan estas imágenes y datos.

De acuerdo con los datos suministrados por el CONPES 3983 (2020, p. 23), Colombia en el 2018 adquirió servicios satelitales por un valor de US\$ 282 millones dólares, donde los servicios de comunicaciones representaron un 55 % del mercado, la navegación el 44 % e imágenes satelitales el 1% (US\$ 1.68 millones de dólares); de estos servicios el 87 % corresponden a entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Dirección General Marítima (DIMAR), la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) por un valor de US\$ 1.46 millones de dólares. Este último valor se consideró como una de las oportunidades de comercialización.

En el mismo documento CONPES 3983 (2020) de referencia se afirma que el Estado Colombiano debe realizar compras de imágenes satelitales en el Marco del Plan Nacional de Cartografía en el que se tiene proyectado un promedio de US\$ 12.8 millones de dólares por año (IGAC, 2017), lo que representa una oportunidad de ofrecimiento de servicios directamente con esta entidad. Tomando como punto de partida de estas proyecciones se estima un nivel de impacto del 30 % con relación a los valores proyectados por el IGAC, con un crecimiento paulatino del 2 % por año, lo cual representa US\$ 3.840.00 millones de dólares por año.

- **Ahorros intangibles:**

El desarrollo y gestión del Programa FACSAT en Colombia, liderado por la Fuerza Aérea Colombiana, promete generar ahorros intangibles en términos económicos. Aunque estos beneficios son difíciles de cuantificar a corto plazo, se prevé que se materialicen a medida que el proyecto avance. El programa tiene como objetivo desarrollar capacidades tecnológicas y humanas mediante la capacitación, educación y programas de investigación y desarrollo (I+D), siguiendo la estrategia Newspace, que permite implementaciones rápidas y de bajo costo en proyectos espaciales. Entre las principales metas del programa se incluyen (Pelton, Potter, & Stott, 2018; Corredor & Benavidez, 2019, p. 11; Rodríguez-Pirateque, Sofrony Esmeral, Cortés García, & Rueda, 2020, p. 157):

1. Desarrollar la capacidad de fabricación satelital local, posicionando a Colombia como un actor clave en el sector espacial, especialmente en la producción de pequeños satélites, lo que beneficiará tanto el ámbito económico como el social.
2. Adquirir el conocimiento tecnológico necesario para lograr autonomía en las operaciones y el dominio espacial.
3. Aumentar la conciencia nacional sobre el desarrollo espacial, integrando agencias militares y civiles para aprovechar los recursos humanos, de infraestructura y económicos en un esfuerzo coordinado (Minciencias, 2022).
4. Fortalecer la cooperación internacional en el desarrollo espacial, reduciendo brechas tecnológicas y de conocimiento a través de la colaboración con organizaciones internacionales como las Naciones Unidas y su programa *Copernicus* (Minciencias, 2022).



4.6 PROYECCIÓN DE COSTOS DE DESARROLLO

Con el fin de establecer un reconocimiento de los costos asociados al proyecto se toma como punto de partida “**El Modelo de planeación y desarrollo de capacidades de la fuerza pública**” (2018) el cual establece que las capacidades se establecen a través del Modelo DOMPI, que representa la Doctrina y documentos que soportan la capacidad, organización, material y equipo, personal e infraestructura, el que se tendrá en cuenta para definir la estructura de costos.

4.6.1 Doctrina y Organización

El programa espacial FACSAT de Colombia representa un avance significativo en el desarrollo de capacidades espaciales autónomas para el país. Este proyecto, liderado por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y en colaboración con GOMspace, busca no solo poner en órbita satélites de observación terrestre, sino también fortalecer la infraestructura técnica y administrativa necesaria para gestionar proyectos espaciales de manera sostenible y efectiva. Para el caso particular del presente informe se han definido las siguientes políticas administrativas y financieras en la **Tabla 57**.

Tabla 57. Políticas Administrativas

ÍTEM	VALOR
Costos de Administración y Ventas	0,00 %
Carga prestacional	52,00 %
Flete Transporte Internacional	20,00 %
Nacionalización y Flete de Transporte Internacional	4,00 %
Gastos Zona Franca	4,00 %
Gastos de Administración - Fiducia	8,00 %
Utilidad Venta Nacional	-
Utilidad Venta Internacional	-
Proyección de Crecimiento del mercado de imágenes	1
Proyección de imágenes al año Mercado Nacional	0

ÍTEM	VALOR
Proyección Imágenes al año Mercado Internacional	0
TRM (\$ USD)	USD \$ 3.500,00 %
Valor arrendamiento por uso del espacio	-

Las directrices administrativas del proyecto FACSAT son importantes para la planificación y gestión eficiente de los recursos. Estas políticas abarcan desde la administración de costos y ventas hasta la logística internacional, asegurando que todas las operaciones se realicen de manera ordenada y costo-efectiva. Además, el proyecto incluye una proyección del crecimiento del mercado de imágenes, lo cual es fundamental para la estrategia de comercialización de los servicios de observación terrestre (Ver **Tabla 58**).

Tabla 58. Políticas Financieras

ÍTEM	VALOR
Disponible en Caja (Días)	-
Cuentas por Cobrar Clientes (Días)	-
Cuentas por Pagar (Días)	-
IVA	16,00 %
Porcentaje Máximo de Inversión de los Socios	100,00 %
Porcentaje de Obligaciones Financieras	-
Porcentaje de Reserva Legal	10,00 %
Porcentaje de Reserva Estatutaria	-
Política de Inventarios de Materias Primas (Días)	0
Política de Inventarios de Producto en Proceso (Días)	0
Política de Inventarios de Producto Terminado (Días)	0
Tasa de impuesto	35,00 %

Las políticas financieras detalladas en esta tabla son esenciales para asegurar la estabilidad y sostenibilidad financiera del proyecto. Incluyen medidas sobre la gestión de inventarios, reservas legales y estatutarias, y obligaciones fiscales. Estos lineamientos



permiten una gestión prudente del capital y aseguran que los recursos estén disponibles cuando sean necesarios para las operaciones del proyecto.

La combinación de políticas administrativas y financieras presentadas en estas tablas proporciona una visión integral de la estructura organizativa y económica del programa FACSAT. Estos lineamientos permiten una planificación estratégica y una gestión de recursos que maximicen la eficiencia y la sostenibilidad a largo plazo del programa espacial de Colombia. Estas medidas reflejan un enfoque meticuloso y adaptado a las necesidades específicas del sector espacial, contribuyendo así al fortalecimiento de la capacidad nacional en tecnología espacial y observación terrestre.

4.6.2 Inversiones en materiales y equipos

La inversión en el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) de la FAC para el fortalecimiento de las capacidades y laboratorios es de \$ 107.328.132 para materiales e insumos, y \$ 1.216.892.989 en equipos. En la **Tabla 59** se presentan los costos de los componentes que hacen parte de un CubeSat estándar y los respectivos costos de adquisición.

Tabla 59. Costos asociados a los sistemas del satélite FACSAT-2

Nº	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Equipamiento básico para el Laboratorio de Integración de Nanosatélites en las instalaciones que disponga la Escuela Militar de Aviación	US\$ 30.000
2	Estructura 6U (NanoStructure 6U)	US\$ 22.500
3	Sistema Eléctrico (EPS) (NanoPower P60)	US\$ 38.000
4	Sistema de almacenaje de energía (NanoPower BPX)	US\$ 17.000
5	Placa base (motherboard) (NanoDock DMC-3)	US\$ 6.000
6	Computador de abordo. (OBC) (NanoMínd A3200)	US\$ 15.000
7	Radio de comunicaciones UHF (NanoCom AX100)	US\$ 15.000
8	Antena de comunicaciones UHF (NanoCom ANT430-6)	US\$ 20.000
9	Soporte de pruebas (Flat-sat test-bed) (NanoUtil TestDock)	US\$ 7.000
10	Subcomponentes Misceláneos	US\$ 5.000
11	Software y librerías para el OBC	US\$ 45.000

Nº	DESCRIPCIÓN	VALOR
12	Software del módulo terrestre	US\$ 18.000
13	EGSE (Electrical Ground Support Equipment)	US\$ 11.500

Fuente: CODALTEC (2017).

De acuerdo con la información suministrada los costos generados por los componentes satelitales incluyendo las cargas útiles son de US\$ 638.790.

4.6.3 Personal

El proyecto FACSAT-2 de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) es un esfuerzo integral para mejorar las capacidades satelitales del país mediante la colaboración del aliado GOMspace. Este acuerdo incluye un programa de transferencia de conocimiento que abarca desde la capacitación en gestión de proyectos hasta el desarrollo de cargas útiles ópticas y encriptación de software. En la **Tabla 60**, se detalla la estructura de este proyecto y su relevancia en la construcción de capacidades locales en Colombia (FAC, 2020).

Tabla 60. *Transferencia de Conocimiento y capacitación del proyecto FACSAT-2*

ASPECTO DEL PROGRAMA	DESCRIPCIÓN
Capacitación de Especialistas	Entrenamiento en Project Management, Systems Engineering, OBDH/Power & AIT, Mechanical & AIT support, RF & Ground Station, AOCS & Flight Software, Optical Payload, y Software Encryption.
Cursos Teóricos y Virtuales	Programas de formación y entrenamiento en modalidad presencial y virtual, tanto nacionales como internacionales para fortalecer las competencias técnicas y gerenciales del personal.
Proyectos I+D+i	Iniciativas de investigación, desarrollo e innovación para la apropiación de conocimiento, aumentando la competitividad tecnológica en Colombia.

El Programa de Transferencia de Conocimiento con el aliado, está diseñado para proporcionar a la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) las competencias necesarias para liderar el diseño y desarrollo de plataformas satelitales, conforme a los estándares del Sistema de Cooperación Europeo para la Normalización en el Espacio (ECSS). Este programa es esencial para promover la innovación tecnológica en el sector espacial.



Además, se adelantó formación del personal en áreas clave como ingeniería y arquitectura de sistemas espaciales, prácticas estándar de desarrollo de software, diseño mecánico, sistemas embebidos, sistemas ADCS y la gestión de proyectos, y vinculó a universidades nacionales con programas particularizados para la FAC, lo que se busca es potenciar la innovación y la competitividad local, para desarrollar capacidades tecnológicas avanzadas, alineándose con la estrategia nacional para el progreso en el ámbito espacial.

Tabla 61. Indicadores del programa de transferencia de conocimiento con GOMspace

CATEGORÍA	INDICADOR ESTRATÉGICO	INDICADOR TECNOLÓGICO
Capacidades de Observación	Resolución satelital de 4.75 m/pixel (GSD).	Adherencia al estándar TEC-SY/128/2013/SPD/RW de la ESA para garantizar la calidad y la interoperabilidad de los sistemas.
Consolidación de Capacidades	Apropiación de conocimiento del 50% en el ciclo de vida de una misión satelital, con: - 12 proyectos de I+D+i completados - Una (1) alianza estratégica con FAC, Ecopetrol y Codaltec.	Tasa de innovación con 103 productos científicos, que refleja el progreso y la creatividad en el campo: - Ocho publicaciones - 12 desarrollos tecnológicos

Desde la perspectiva de la gestión en innovación tecnológica, el Programa de Transferencia de Conocimiento con un aliado experto Internacional, Universidades Nacionales y entidades internacionales es fundamental para elevar las capacidades de Colombia en el ámbito espacial. La información a adquirir del FACSAT-2 en resolución de 4.75 m/pixel (GSD) del satélite contribuye significativamente a la planificación urbana y la gestión ambiental, mientras que la adherencia a estándares internacionales asegura la calidad y la interoperabilidad de los sistemas desarrollados.

Desde la perspectiva financiera, el Programa de Transferencia de Conocimiento con GOMspace cuenta con una asignación anual de \$548,997,361 para el personal operativo, que incluye la carga prestacional. Esta inversión cubre los principales subsistemas necesarios para el diseño, fabricación y ensamblaje del satélite. No obstante, es requerido el vincular más personal para todas las áreas del programa, como son diseño, ensamble e integración en laboratorios, y pruebas, operación y explotación de los datos. Con el avance del Programa FACSAT, es necesario asegurar que el personal disponga de las capacidades, herramientas y conocimientos actualizados para desarrollar pruebas,

protocolos, y manejos documentales y estandarizaciones requeridas, garantizando así la continuidad del proyecto.

El programa logró una consolidación notable de capacidades, alcanzando una apropiación del 50 % en el desarrollo del ciclo de vida de las misiones satelitales, a través del cumplimiento de 12 proyectos de I+D+i. La colaboración con Ecopetrol y Codaltec, para potenciar la investigación espacial y el monitoreo de gases de efecto invernadero (GEI). Con una producción de 103 productos científicos, incluyendo ocho publicaciones y al menos 12 desarrollos tecnológicos, el programa demuestra un notable avance en la innovación y en la aplicación de tecnologías avanzadas en el sector espacial.

En términos de impacto social y económico, el programa genera beneficios significativos, incluyendo la creación de 90 empleos directos e indirectos en sectores como tecnología, manufactura y servicios. También tiene impacto en la industria nacional al involucrar a más de 30 empresas locales en la cadena de valor del proyecto, contribuyendo a la producción de componentes y servicios tecnológicos y fortaleciendo la capacidad de la industria local. Además, el programa logró un Retorno de Inversión (ROI) del 55.16 %, reflejando los beneficios obtenidos del uso de la tecnología desarrollada.

4.6.4 Infraestructura

A continuación, se presentan los costos relacionados con la infraestructura existente actual utilizada para el Programa FACSAT (ver **Tabla 62**):

Tabla 62. Relación de Costos de la Infraestructura y laboratorios CITAE 2021

DETALLE	AÑO DE ADQUISICIÓN	INVERSIÓN EN PESOS \$
Hangar	2.009	500.000.000
Infraestructura	2.022	4.550.262
Mantenimiento hangar		5.000.000
Mantenimiento infraestructura		1.000.000

Fuente: CITAE (2021).



4.6.5 Gastos de administración

Complementarios a los rubros antes mencionados se han generado erogaciones correspondientes a las fases establecidas por GOMspace para el desarrollo de proyectos espaciales conforme a la metodología de Ingeniería de Sistemas ESA (ver **Tabla 63**).

Tabla 63. Relación de Costos y Gastos administrativos del Proyecto FACSAT-2

ITEM	VALOR COP (\$)
Asesoría y consultoría especializada	\$ 382.195.703
Gastos de administración	\$ 1.943.176.898
Gastos operativos	\$ 28.914.336
Servicio Lanzamiento	\$ 1.516.382.706
Software especializado	\$ 1.108.567.506
Divulgación	\$ 43.543.743
Salidas de campo y viajes	\$ 576.168.681
Servicios técnicos y tecnológicos	\$ 12.874.699.900
TOTAL	\$ 18.473.649.473

Fuente: CITAE (2022).

4.7 PROYECCIONES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS

Teniendo en cuenta la información brindada a continuación se presentan las principales tablas relacionadas con la proyección económica y financiera del Programa FACSAT:

Teniendo en cuenta las proyecciones generadas con base en los costos establecidos en el Programa FACSAT, proyectado a 15 años y la fabricación de seis satélites de iguales características del FACSAT-2, con intervalos de lanzamiento de 2 años. Se puede indicar que el programa genera una tasa interna de retorno (TIR) del 74.05 % y un valor presente neto (VPN) de \$ 30.765.574.006; lo que representa que el programa es VIABLE en el horizonte de estudio. Por otro lado, el tiempo de recuperación de la inversión es de 25 meses, posterior a los 15 años.

4.7.1 Proyecciones macroeconómicas

El análisis económico del programa espacial FACSAT-2 en el contexto macroeconómico y de proyección de ahorros y servicios satelitales en Colombia proporciona una visión integral del impacto y la viabilidad económica del proyecto. En la **Tabla 64**, se examinan variables macroeconómicas relevantes, como la inflación al consumidor y al productor, la devaluación y la Tasa Representativa del Mercado (TRM), así como los ahorros generados por la fabricación de activos satelitales y las proyecciones de ingresos provenientes de servicios satelitales. Estos elementos permiten evaluar cómo el entorno económico influye en la gestión del programa y en la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas espaciales.

Tabla 64. Proyecciones macroeconómicas de la misión FACSAT-2

DETALLE	AÑO		
	2.021	2.022	2.030
VARIABLES MACROECONÓMICAS			
Inflación al consumidor	5,62 %	5,68 %	4,98 %
Inflación al productor	8,18 %	8,19 %	8,25 %
Devaluación	-44.00 %	-44.00 %	-44.00 %
TRM (\$ USD)	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 3.500
PROYECCION DE AHORROS GENERADOS POR LA FABRICACIÓN DE ACTIVOS SATELITALES			
Mercado Nacional			
Valor del Ahorro por la fabricación de Satélites en Colombia (\$ USD)	\$ 1.314.932		
Ahorro en Costo traslado y transporte (\$ USD)	\$ 315.584		
Proyección de Crecimiento			
PROYECCIÓN DE SERVICIOS SATELITALES			
Imágenes Satelitales			
Valor de Servicios Satelitales en Colombia (\$ USD)	\$ 1.460.000	\$ 1.467.300	\$ 1.527.029
Proyección de Crecimiento		0,5%	0,5%
Plan Nacional de Cartografía			
Valor de Servicios Satelitales en Colombia (\$ USD)	\$ 12.800.000	\$ 3.840.000	\$ 4.499.172
Proyección de Crecimiento		30%	2%



DETALLE	AÑO		
	2.021	2.022	2.030
Valor de Servicios Satelitales en Colombia (\$ USD)		\$ 0	\$ 0
Proyección de Crecimiento			

El análisis revela la siguiente información separada en: **variables macroeconómicas**, con inflación al consumidor, inflación al productor y devaluación y TRM (\$ USD); proyección de ahorros generados por la fabricación de activos satelitales, en el mercado Nacional; y proyección de servicios satelitales, respecto a las imágenes satelitales y al plan nacional de cartografía, así:

- **Variables Macroeconómicas:** La **inflación** al consumidor y al productor muestra una ligera disminución al pasar de 5,68 % en 2022 a 4,98 % en 2030 para la inflación al consumidor, mientras que la inflación al productor se mantiene relativamente estable con un incremento marginal de 8,18% en 2021 a 8,25 % en 2030. La estabilidad en la Tasa Representativa del Mercado (TRM) en \$ 3.500 por dólar estadounidense y la constante **devaluación** del 44 % a lo largo de los años indican un entorno económico con un impacto moderado en los costos operativos y de inversión del programa FACSAT-2.
- **Proyección de Ahorros Generados por la Fabricación de Activos Satelitales:** La fabricación de satélites en Colombia permitió un **ahorro** significativo en términos de costos. El valor total del ahorro generado por la fabricación local de satélites es de \$1.314.932, con un ahorro adicional de \$315.584 en costos de traslado y transporte. Este ahorro no solo refuerza la viabilidad económica del programa al reducir los costos asociados, sino que también subraya la importancia de fortalecer la capacidad nacional en la fabricación de tecnología espacial.
- **Proyección de Servicios Satelitales:** Los ingresos proyectados por los servicios satelitales en Colombia muestran un crecimiento gradual pero constante. Para **imágenes satelitales**, se espera que el valor de los servicios aumente de \$ 1.460.000 en 2021 a \$ 1.527.029 en 2030, con una tasa de crecimiento anual de 0,5 %. Esto indica una demanda estable y un mercado en expansión para los servicios de imágenes satelitales. Por otro lado, el **Plan Nacional de Cartografía** experimenta una fluctuación significativa en los valores proyectados de servicios satelitales, con una proyección de \$ 12.800.000 en 2021 que disminuye a \$ 4.499.172 en 2030.

Esta disminución refleja una caída en el valor estimado, a pesar de una alta tasa de crecimiento en 2021 (30 %), seguida de una desaceleración a un crecimiento más moderado del 2 % en años posteriores. Esta tendencia sugiere una posible saturación del mercado o una reevaluación de las prioridades en la cartografía nacional.

El análisis de estas variables y proyecciones revela un entorno económico relativamente estable que apoya la viabilidad del programa FACSAT-2. Los ahorros generados por la fabricación local y el crecimiento proyectado en los servicios satelitales destacan la efectividad y el potencial económico del programa, mientras que las fluctuaciones en los servicios de cartografía sugieren la necesidad de ajustes estratégicos para maximizar el impacto y la rentabilidad en el futuro.

4.7.2 Balance general

El balance proyectado para los años 2021 a 2030, presentado en la **Tabla 65**, detalla la evolución financiera, destacando el crecimiento sostenido en los activos corrientes y fijos, así como en la utilidad acumulada y las reservas. Este análisis evidencia un incremento significativo en el capital disponible, aunque también se observa un déficit constante en el balance contable, lo que sugiere la necesidad de una gestión más eficiente de los pasivos y del patrimonio para mantener la estabilidad financiera a largo plazo.

Tabla 65. Balance General resumido

DETALLE	AÑO		
ACTIVOS	2.021	2.022	2.030
Activos Corrientes			
Efectivo	1.699.111.205	15.363.308.716	123.787.876.130
Deudores	0	0	0
Inventarios:			
Inv. Materia Prima	0	0	0
Inv. Productos en Proceso	0	0	0
Inv. Producto Terminado	0	0	0
Total Activos Corrientes	1.699.111.205	15.363.308.716	123.787.876.130
Activos Fijos			



DETALLE	AÑO		
	2.021	2.022	2.030
Propiedad, Planta y Equipo	2.330.672.862	2.330.672.862	3.559.120.745
Depreciación Acumulada	0	549.278.238	3.398.103.628
Total Activos Fijos	2.330.672.862	1.781.394.624	161.017.117
Otros Activos			
Derechos de Explotación	16.340.259.504	16.340.259.504	24.952.861.265
Licencia Software	1.108.567.506	1.171.492.015	1.777.122.714
- Amortización	0	4.747.266.737	21.871.718.890
Total Otros Activos	17.448.827.010	12.764.484.782	4.858.265.089
TOTAL ACTIVOS	21.478.611.077	29.909.188.121	128.807.158.337
PASIVOS	2.021	2.022	2.023
Pasivos Corrientes			
Proveedores	0	6.340.572	9.618.482
Impuestos por Pagar	0	4.325.950.045	7.311.587.712
Total Pasivos Corrientes	0	4.332.290.617	7.321.206.193
Pasivos a Largo Plazo			
Obligaciones Financieras	0	0	0
Cuentas por Pagar	0	0	0
Total Pasivos a Largo Plazo	0	0	0
TOTAL PASIVOS	0	4.332.290.617	7.321.206.193
PATRIMONIO			
Capital	21.478.611.077	21.478.611.077	21.478.611.077
Reservas	0	803.390.723	10.442.994.524
Revalorización de Patrimonio	0	0	0
Utilidad Acumulada	0	0	81.766.154.111
Utilidad del ejercicio	0	7.230.516.504	12.220.796.604
TOTAL PATRIMONIO	21.478.611.077	29.512.518.303	125.908.556.316
TOTAL PASIVO + PATRIMONIO	21.478.611.077	33.844.808.920	133.229.762.509
	0	3.935.620.799	4.422.604.172
BALANCE CONTABLE	0	-3.935.620.799	-4.422.604.172

Se destaca un crecimiento en la liquidez y en el patrimonio, a pesar de los desafíos relacionados con la depreciación y la amortización de activos, y la acumulación de pasivos. Estos factores deben ser considerados cuidadosamente en la planificación financiera futura para asegurar la sostenibilidad a largo plazo, definiendo que:

- **Activos:** La empresa muestra una mejora en su liquidez, con un aumento del efectivo de \$ 1.699.111 en 2021 a \$ 123.787.876 en 2030, indicando una mejor capacidad para cubrir obligaciones a corto plazo. No hay datos sobre inventarios ni deudores, lo que sugiere una falta de enfoque en productos físicos o servicios a crédito. Los activos fijos aumentan ligeramente en valor, pero la depreciación acumulada reduce su valor neto. Los activos intangibles, como derechos de explotación y licencias de software, también crecen en amortización, siendo fundamentales para la operación y valor de la empresa.
- **Pasivos:** Los pasivos corrientes, que incluyen proveedores e impuestos por pagar, aumentan de 4.332 millones en 2022 a 7.321 millones en 2030. Este incremento podría reflejar una expansión en las operaciones de la empresa o ajustes en las obligaciones fiscales. La proporción significativa de impuestos por pagar en relación con los proveedores indica una carga fiscal destacada.
- **Patrimonio:** muestra estabilidad en el capital, que se mantiene constante en 21.478 millones a lo largo del período. Sin embargo, las reservas y la utilidad acumulada experimentan un crecimiento notable, con las reservas aumentando de 803 millones en 2022 a 10.443 millones en 2030, y la utilidad acumulada alcanzando 81.766 millones en 2030. Además, la utilidad del ejercicio también crece de manera constante, pasando de 7.230 millones en 2022 a 12.221 millones en 2030, lo que refleja una mejora en la rentabilidad de la entidad.
- **Balance contable:** negativo y persistente a lo largo del período, que aumenta de -3.936 millones en 2022 a -4.423 millones en 2030, sugiere un problema continuo de equilibrio entre los activos y los pasivos. Este déficit creciente indica posibles ajustes negativos en el patrimonio o una acumulación de pasivos, reflejando desafíos en la gestión financiera de la empresa.

En conjunto, la empresa muestra una sólida posición financiera con un fuerte crecimiento en activos y patrimonio, sin recurrir a financiamiento a largo plazo. La liquidez parece estar bien gestionada, y los activos intangibles juegan un papel crucial en la estructura de activos.



4.7.3 Influencia del flujo de caja libre en el análisis financiero

La **Tabla 66** resume los principales indicadores financieros, incluyendo la utilidad operacional, el flujo de caja libre, el costo promedio ponderado de capital (CPPC), el valor presente neto (VPN) y el tiempo de recuperación de la inversión.

Tabla 66. Flujo de caja libre en el análisis financiero

DETALLE	AÑO		
	2.021	2.022	2.030
Utilidad Operacional (EBIT)		-4.934.895.017	58.125.270.722
- Impuestos (EBIT)		-1.727.213.256	20.343.844.753
Utilidad Operacional Después de Impuestos (NOPAT)		-3.207.681.761	37.781.425.969
+ Depreciación		549.278.238	87.448.450
+ Amortización		3.383.708.651	2.513.147.819
Flujo de Caja Operacional	0	725.305.129	40.382.022.238
- Inversiones en Activos Fijos	2.330.672.862		
- Capital de Trabajo	1.699.111.205	1.395.535.278	-21.392.047.457
- Inversión Amortizable	17.448.827.010		
Flujo de Caja Libre	-21.478.611.077	-670.230.149	61.774.069.695
TIR del Proyecto	48,27%		
COSTO PROMEDIO PONDERADO DE CAPITAL			
Cálculo del Porcentaje de Deuda y Recursos Propios	Valor (Pesos)	% de Participación	
Inversión Inicial de los Socios (Aportes)	0	100,00%	
Inversión Inicial Con terceros (Obligaciones Financieras)	21.478.611.077	0,00%	
Inversión Total	21.478.611.077	100,00%	
Kd	0,00%		
T	35,00%		
Ke	20,00%		
CPPC (WACC)	20,00%		
CÁLCULO DEL VPN			
Valor del Activo Operacional	-21.478.611.077	-670.230.149	161.017.117

DETALLE	AÑO		
	2.021	2.022	2.030
VPN	19.872.971.167		
TIEMPO DE RECUPERACIÓN			
Valor del Activo Operacional	-21.478.611.077	-670.230.149	161.017.117
Valor de recuperación	-21.478.611.077	-22.148.841.226	141.726.119.645
TIEMPO DE RECUPERACIÓN	2 Años	25 Meses	

El análisis de los datos financieros revela una evolución positiva en los indicadores clave del programa espacial, así:

- **Utilidad operacional (EBIT):** muestra una mejora notable, aumentando de -4.934 millones en 2021 a un máximo de 62.261 millones en 2028. Refleja una sólida capacidad de generación de ingresos operacionales y una recuperación efectiva del desempeño financiero inicial.
- **Utilidad después de impuestos (NOPAT):** presenta un crecimiento robusto, subiendo de -3.208 millones en 2021 a 37.781 millones en 2030. Indica una mejora en la rentabilidad neta, después de contabilizar los impuestos, y sugiere una gestión fiscal eficaz a lo largo del tiempo.
- **Flujo de caja libre:** muestra una notable recuperación, pasando de un valor negativo de -21.479 millones en 2021 a 61.774 millones en 2030. Indica una capacidad creciente del programa para generar recursos suficientes para cubrir inversiones y gastos operativos, lo que refuerza la sostenibilidad financiera del proyecto.
- **Cálculo del valor presente neto (VPN):** de 19.873 millones, demostrando que el proyecto generará un valor adicional significativo sobre el costo de capital. El programa espacial es financieramente viable y se espera una rentabilidad positiva sobre la inversión.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** notablemente alta, alcanzando un 48,27 %, lo que indica un retorno atractivo sobre la inversión.
- **Tiempo de recuperación:** aproximadamente 25 meses, lo que indica una recuperación relativamente rápida del capital invertido. Este corto periodo de recuperación refuerza la eficiencia del proyecto en generar rendimientos a partir de las inversiones realizadas.

Finalmente, el costo promedio ponderado de capital (CPPC) se mantiene en un 206 %, reflejando la estructura de financiamiento del proyecto con una combinación de capital propio y deuda. En general, los resultados financieros muestran una trayectoria positiva



para el programa espacial, con mejoras en rentabilidad, generación de flujo de caja y recuperación de inversión, lo que confirma la viabilidad económica y potencial del proyecto a largo plazo.

En resumen, el análisis financiero indica que el proyecto es financieramente sólido y rentable, con un crecimiento robusto en los ingresos y una recuperación eficiente de la inversión inicial.

4.7.4 Punto de equilibrio

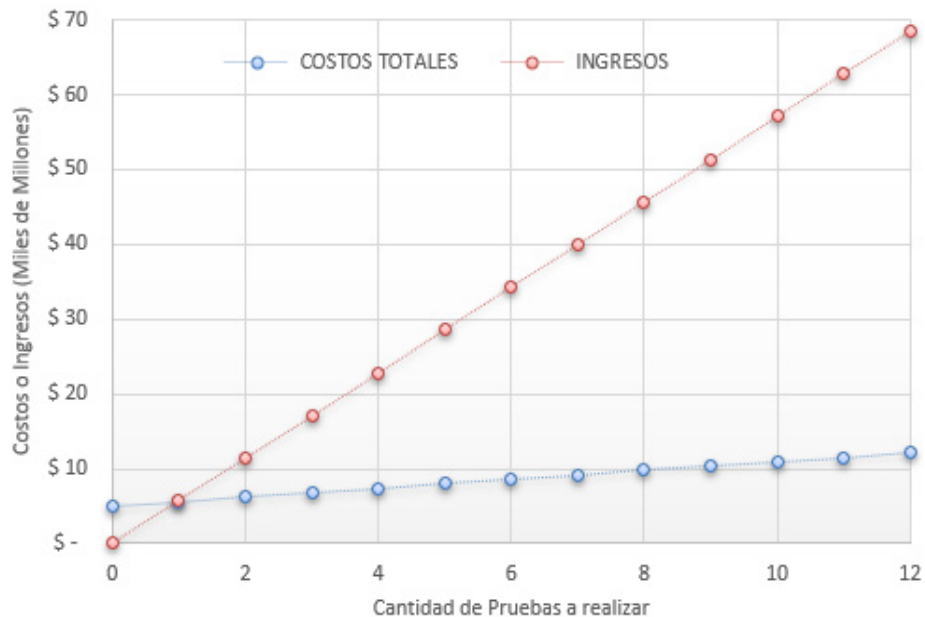
Con el fin de evaluar la viabilidad financiera del programa, determinando el volumen de ventas necesario para cubrir todos los costos y gastos asociados, en la **Tabla 67** se evidencia un desglose de los costos fijos, los costos variables unitarios y el precio de venta, así como la cantidad necesaria para alcanzar el punto de equilibrio.

Tabla 67. Punto de equilibrio común y contable

COSTOS FIJOS	VALOR
Depreciación	\$ 519.774.782
Amortización	\$ 3.383.708.651
Costos directos de fabricación	\$ 102.697.180
Costos de Administración y Ventas	\$ 1.001.908.127
Gastos de Administración - Fiducia	\$ -
TOTAL COSTOS FIJOS	\$ 5.008.088.741
COSTOS VARIABLES UNITARIOS	
Costo de materias primas, insumos y suministros	\$ 45.508.537
Costos de Mano de Obra	\$ 548.997.361
TOTAL COSTOS VARIABLES UNITARIOS	\$ 594.505.898
PRECIO DE VENTA	\$ 1.630.516
CANTIDAD DEL PUNTO DE EQUILIBRIO	0,98

El punto de equilibrio común y contable para el programa espacial, muestra cómo varían los costos fijos, costos variables, costos totales, ingresos y utilidades a medida que se incrementa la producción. Esta información es crucial para entender el volumen de ventas necesario para cubrir todos los costos y comenzar a generar beneficios (ver **Figura 41**).

Figura 41. Punto de equilibrio



El análisis del punto de equilibrio revela información crucial sobre la estabilidad financiera del programa espacial, así:

- **Costos fijos totales:** ascienden a \$ 5.008.088.741, distribuidos entre depreciación (\$ 519.774.782), amortización (\$ 3.383.708.651), costos directos de fabricación (\$102.697.180), y costos de administración y ventas (\$ 1.001.908.127). Representan los gastos que la entidad debe cubrir independientemente del volumen de producción o ventas, destacando la importancia de una gestión eficiente y una planificación financiera sólida.
- **Costos variables unitarios:** incluyen el costo de materias primas, insumos y suministros (\$45.508.537) y los costos de mano de obra (\$548.997.361), suman un total de \$594.505.898. Estos costos están directamente relacionados con el volumen de producción y ventas, lo que implica que cualquier cambio en la producción afectará significativamente los costos totales.



- **Precio de venta por unidad:** es de \$ 1.630.516, lo que, en combinación con los costos variables, ayuda a determinar el punto de equilibrio. La cantidad del punto de equilibrio calculada es de 0,98 unidades, lo que sugiere que el programa necesita vender cerca de una unidad para cubrir todos sus costos fijos y variables. Este cálculo indica una alta eficiencia en la capacidad de cobertura de costos, reflejando una estructura de costos bien gestionada y una estrategia de precios efectiva.

El análisis de la **Tabla 67** indica que, con costos fijos constantes de \$ 5.008.088.741 y costos variables unitarios de \$ 594.505.898, el punto de equilibrio se alcanza cuando los ingresos superan los costos totales. La producción y venta de una unidad genera una utilidad positiva de \$ 104.210.806, lo que señala que el programa comienza a ser rentable. A medida que la producción aumenta, la utilidad se incrementa significativamente, alcanzando \$ 56.339.505.818 al vender 12 unidades.

Este comportamiento refleja una alta eficiencia en la cobertura de costos y una sólida generación de beneficios, subrayando la viabilidad económica del proyecto con el incremento de la producción. El bajo punto de equilibrio sugiere que el programa posee un umbral de rentabilidad relativamente bajo, lo cual es favorable para la estabilidad financiera a corto plazo. No obstante, es crucial seguir monitoreando tanto los costos fijos como los variables y ajustar la estrategia de precios y producción según sea necesario para asegurar la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo del programa.

4.7.5 Indicadores financieros del programa espacial FACSAT

Los indicadores financieros son herramientas esenciales para evaluar la salud económica y la viabilidad de proyectos a gran escala, como el Programa Espacial FACSAT. Estos indicadores ofrecen una visión integral sobre la liquidez, el endeudamiento, la eficiencia operativa y la rentabilidad del proyecto. Se presentan y analizan los principales indicadores financieros relevantes para el Programa FACSAT, enfatizando su importancia en la gestión y toma de decisiones estratégicas **Tabla 68**.

Tabla 68. Indicadores Financieros

INDICADORES	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA DE CÁLCULO
Liquidez o solvencia	Capital de trabajo	Margen de seguridad para cumplir obligaciones a corto plazo.
		$\text{Activo Corriente} - \text{Pasivo Corriente}$
	Liquidez o Solvencia	Capacidad para hacer frente a deudas a corto plazo.
		$\text{Activo Corriente} / \text{Pasivo Corriente}$
Liquidez o solvencia	Prueba Acida	Capacidad de cubrir pasivos sin recurrir a la venta de inventarios.
		$(\text{Activo Corriente} - \text{Inventarios}) / \text{Pasivo Corriente}$
	Solidez	Consistencia financiera a corto y largo plazo.
		$\text{Activo Total} / \text{Pasivo Total}$
Endeudamiento total o de cobertura	Endeudamiento total	Grado de apalancamiento financiero.
		$(\text{Pasivo Total} \times 100) / \text{Activo Total}$
	Endeudamiento a Corto Plazo	% de pasivos que deben ser asumidos en el corto plazo.
		$(\text{Pasivo Corriente} \times 100) / \text{Pasivo Total con terceros}$
	Razón de Protección	Relación entre el capital contable y el pasivo total.
		$\text{Capital Contable} / \text{Pasivo Total}$
Endeudamiento total o de cobertura	Endeudamiento Financiero	Obligaciones financieras en relación con las ventas netas.
		$(\text{Obligaciones Financieras} \times 100) / \text{Ventas Netas}$
	Carga Financiera	Porcentaje de ventas dedicado a gastos financieros.
		$(\text{Gastos Financieros} \times 100) / \text{Ventas Netas}$
Endeudamiento total o de cobertura	Razón pasivo - Capital	Relación entre fondos suministrados por acreedores y propietarios.
		$\text{Pasivo a Largo Plazo} / \text{Patrimonio}$
	Apalancamiento Total	Compromiso del patrimonio con deudas.
		$\text{Pasivo Total con Terceros} / \text{Patrimonio}$
Endeudamiento total o de cobertura	Apalancamiento a Corto Plazo	Compromiso de patrimonio con deudas a corto plazo.
		$\text{Total Pasivo Corriente} / \text{Patrimonio}$
Endeudamiento total o de cobertura	Leverage Financiero Total	Compromiso del patrimonio con deudas financieras.
		$\text{Pasivos Totales con Ent. Financ.} / \text{Patrimonio}$
Endeudamiento total o de cobertura	Índice de Propiedad	Proporción del patrimonio sobre el total de activos.
		$\text{Patrimonio} / \text{Activo Total}$
Medidas de cobertura o de reserva	Cobertura de interés	Capacidad para cubrir gastos financieros con utilidad operacional.
		$\text{Utilidad de Oper. A Int. E Imp} / \text{Intereses Pagados}$
Actividad, rotación o de eficiencia	Rotación de activos fijos	Ventas generadas por cada dólar invertido en activos fijos.
		$\text{Ventas} / \text{Activo Fijo Bruto}$
Actividad, rotación o de eficiencia	Rotación de Activos Totales	Eficiencia en el uso de activos para generar ventas.
		$\text{Ventas Totales} / \text{Activos Totales Brutos}$



INDICADORES	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA DE CÁLCULO
Actividad, rotación o de eficiencia	Rotación de Capital	Participación de Ventas Totales/(Patrimonio + Pasivo a Largo Plazo)
	Rotación Patrimonio Liquido	Ventas generadas por la inversión de socios o accionistas. Ventas netas/Patrimonio Liquido
Rendimiento, rentabilidad o lucratividad	Rentabilidad bruta	% de utilidad bruta generada por las ventas. (Utilidad Bruta x 100)/ Ventas Netas
	Rentabilidad Operacional	% de utilidad operacional generada por las ventas. (Utilidad Operacional x 100)/Ventas Netas
	Rentabilidad Neta	% de utilidad neta generada después de impuestos. (Utilidad Neta x 100)/Ventas Netas
	Rentabilidad del Patrimonio (ROE)	Rendimiento sobre el patrimonio. (Utilidad Neta x 100)/ Patrimonio
Sistema Dupont	Retorno sobre la inversión (ROI)	Efectividad de la administración en generar utilidades con los activos. Utilidad Neta/Activo Total

Los indicadores financieros del Programa Espacial FACSAT son esenciales para evaluar su viabilidad y desempeño económico. Aspectos como el Capital de Trabajo y la Prueba Ácida revelan la capacidad del programa para cumplir con sus obligaciones a corto plazo, asegurando estabilidad operativa. Además, los indicadores de endeudamiento, como el Endeudamiento Total, permiten medir el nivel de riesgo asociado con la financiación externa, crucial para una gestión financiera equilibrada.

Por otro lado, indicadores como la Rotación de Activos Fijos y la Rentabilidad del Patrimonio (ROE) ofrecen una visión de la eficiencia operativa y la rentabilidad del programa. Una alta rotación de activos refleja un uso efectivo de los recursos, mientras que el ROE indica el rendimiento de las inversiones. Para ilustrar estos aspectos, se recomienda el uso de gráficos de barras, líneas y pastel, que faciliten la interpretación visual de los datos financieros y apoyen la toma de decisiones estratégicas.

La evaluación de la salud financiera de un proyecto se basa en una serie de indicadores clave que proporcionan una visión clara de su desempeño y estabilidad. La **Tabla 69** muestra una serie de indicadores financieros para los años de 2022 a 2030, incluyendo liquidez, solvencia, endeudamiento y rentabilidad. Estos indicadores permiten una evaluación integral de la capacidad del proyecto para gestionar sus recursos y enfrentar obligaciones financieras.

Tabla 69. Indicadores Financieros

INDICADORES 2022		AÑOS	
		2022	2030
Liquidez o solvencia	Capital de trabajo	11.031.018.099	116.466.669.937
	Liquidez o Solvencia	3,55	16,91
	Prueba Acida	3,55	16,91
	Solidez	6,90	17,59
Endeudamiento total o de cobertura	Endeudamiento total	14,48	5,68
	Endeudamiento a Corto Plazo	100,00	100,00
	Razón de Protección	6,81	17,20
	Endeudamiento Financiero	0,00	0,00
	Carga Financiera	0,00	0,00
	Razón pasivo - Capital	0,00 %	0,00 %
	Apalancamiento Total	14,68 %	5,81 %
Endeudamiento total o de cobertura	Apalancamiento a Corto Plazo	14,68 %	5,81 %
	Leverage Financiero Total	0,00 %	0,00 %
	Índice de Propiedad	98,67 %	97,75 %
Actividad, rotación o de eficiencia	Rotación de activos fijos	797,00 %	592,61 %
	Rotación de Activos Totales	52,76 %	13,69 %
	Rotación de Capital	62,94 %	16,75 %
	Rotación Patrimonio Liquido	62,94 %	16,75 %
Rendimiento, rentabilidad o lucratividad	Rentabilidad bruta	88,10	93,06
	Rentabilidad Operacional	61,53	91,80
	Rentabilidad Neta	38,92	57,94
	Rentabilidad del Patrimonio (ROE)	24,50	9,71
Sistema Dupont	Retorno sobre la inversión (ROI)	24,17%	9,49 %

La misión espacial FACSAT-2 muestra un desempeño financiero y operativo robusto, con una serie de aspectos positivos y áreas que requieren atención para optimizar su sostenibilidad, presentando los aspectos positivos y las áreas de mejora así:



Aspectos Positivos:

- 1. Solidez Financiera:** El capital de trabajo aumenta significativamente de \$ 11.031.018.099 en 2022 a \$ 116.466.669.937 en 2030, destacando una sólida capacidad para financiar operaciones y proyectos futuros. La mejora continua en los indicadores de liquidez y solvencia, con la liquidez alcanzando 16,91 % y la prueba ácida siguiendo una tendencia similar, indica una capacidad efectiva para cumplir con las obligaciones a corto plazo sin depender del inventario. Además, el indicador de solidez muestra un crecimiento positivo, alcanzando 17,59 % en 2030, lo que resalta una estabilidad financiera general.
- 2. Reducción de Endeudamiento:** El endeudamiento total disminuye de 14,48 % en 2022 a 5,68 % en 2030, reflejando una reducción efectiva de la deuda. La constante presencia del endeudamiento a corto plazo al 100 % sugiere una estrategia de financiamiento conservadora. La razón de protección también mejora, alcanzando 17,20 % en 2030, lo que indica una mayor capacidad para cubrir costos financieros. La ausencia de carga financiera y apalancamiento financiero, junto con una reducción en el apalancamiento total del 14,68 % al 5,81 %, confirma una estrategia prudente en la gestión de deuda.
- 3. Rentabilidad Elevada:** La rentabilidad bruta se mantiene alta y estable, aumentando de 88,10 % en 2022 a 93,06 % en 2030. La rentabilidad operacional también muestra una tendencia positiva, alcanzando 91,80 en 2030, mientras que la rentabilidad neta crece de 38,92 % en 2022 a 57,94 % en 2030, indicando una sólida generación de beneficios netos. Estos resultados reflejan una gestión efectiva en la generación de ingresos y beneficios.

Áreas de Mejora:

- 1. Eficiencia Operativa:** La rotación de activos fijos presenta fluctuaciones, con un pico en 2027 antes de caer a 592,61 % en 2030. La rotación de activos totales y del capital muestra una tendencia descendente, disminuyendo de 52,76 % en 2022 a 13,69 % en 2030, y de 62,94 % a 16,75 % respectivamente. Esto sugiere desafíos en la eficiencia en el uso de activos y capital para generar ingresos.
- 2. Retorno sobre la Inversión:** El retorno sobre la inversión (ROI) disminuye progresivamente, de 24,1 7% en 2022 a 9,49 % en 2030. Este descenso destaca la

necesidad de revisar las estrategias de inversión para mejorar el rendimiento y asegurar que las inversiones generen el retorno esperado. La rentabilidad del patrimonio (ROE) también presenta una tendencia a la baja, bajando de 24,50 % a 9,71 %, lo que indica una disminución en la eficiencia en el uso del capital propio.

La misión espacial FACSAT-2 presenta una evolución positiva en varios aspectos financieros y operacionales, aunque también enfrenta desafíos que requieren atención. El crecimiento constante en el capital de trabajo, junto con una mejora en los indicadores de liquidez y solvencia, subraya una sólida base financiera y una capacidad robusta para financiar futuras operaciones y cumplir con las obligaciones a corto plazo. La reducción progresiva del endeudamiento total y la ausencia de carga financiera reflejan una gestión prudente de la deuda, minimizando riesgos y optimizando la capacidad de cubrir los costos financieros.

No obstante, la misión enfrenta desafíos en términos de eficiencia operativa, evidenciado por la disminución en la rotación de activos y capital. A pesar de los altos niveles de rentabilidad bruta, operacional y neta, la disminución en el retorno sobre la inversión (ROI) y en la rentabilidad del patrimonio (ROE) indica que es necesario revisar las estrategias de inversión para mejorar el rendimiento y asegurar que los recursos invertidos generen el retorno esperado.

4.8 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

Este enfoque integral asegura que la evaluación de la factibilidad económica del programa FACSAT-2 no solo se base en cifras monetarias, sino también en el potencial de innovación y el impacto estratégico para el país.

1. **Optimización de Recursos:**

- **Rotación de Activos Fijos y Totales:** La rotación de activos fijos muestra un pico en 2027 (843,91 %) pero disminuye a 592,61 % en 2030, mientras que la rotación de activos totales cae de 52,76 % en 2022 a 13,69 % en 2030. Esto sugiere que, a pesar de una alta eficiencia en ciertos años, la capacidad general para utilizar los activos de manera efectiva está en declive. Se recomienda:



- **Reevaluar el uso de activos fijos** y realizar auditorías periódicas para identificar y mitigar cualquier ineficiencia operativa.
- **Implementar prácticas de mantenimiento y actualización de activos** para mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos.

2. **Revisión Estratégica de Inversiones:**

- **Retorno sobre la Inversión (ROI):** El ROI disminuye de 24,17 % en 2022 a 9,49 % en 2030, indicando una reducción en la efectividad de las inversiones. Para abordar esto:
 - **Realizar un análisis detallado de las inversiones** actuales para identificar proyectos que no estén generando el retorno esperado y considerar ajustes o desinversiones.
 - **Explorar nuevas oportunidades de inversión** que alineen mejor con las estrategias y objetivos de la misión, optimizando el uso de recursos y maximizando el retorno.

3. **Fortalecimiento de la Estrategia de Financiamiento:**

- **Capital de Trabajo y Endeudamiento Total:** Con un capital de trabajo en aumento y una reducción continua del endeudamiento total, la misión muestra una sólida posición financiera. Sin embargo, la dependencia constante en deuda a corto plazo (100 %) puede ser riesgosa. Se recomienda:
 - **Diversificar las fuentes de financiamiento**, buscando opciones de financiamiento a largo plazo para reducir la dependencia de la deuda a corto plazo y mejorar la estabilidad financiera.
 - **Explorar asociaciones estratégicas o colaboraciones** para obtener financiamiento adicional o compartir costos, reduciendo la carga financiera sobre la misión.

4. **Mejora de la Eficiencia en el Uso del Capital:**

- **Rentabilidad del Patrimonio (ROE):** La rentabilidad del patrimonio (ROE) muestra una disminución de 24,50 % en 2022 a 9,71 % en 2030, sugiriendo una disminución en la eficiencia en el uso del capital propio. Para mejorar este aspecto:
 - **Implementar estrategias de mejora en la gestión de capital**, enfocándose en proyectos que maximicen el retorno sobre el capital invertido.
 - **Revisar la estructura de capital** para asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente y que la empresa mantenga una proporción saludable entre capital y deuda.

5. **Monitoreo Continuo y Ajuste de Estrategias:**

- **Liquidez y Solidez:** Con una mejora en los indicadores de liquidez y solidez, es crucial mantener este desempeño:
 - **Establecer un sistema de monitoreo financiero continuo** para evaluar la liquidez, solvencia y solidez regularmente, permitiendo ajustes rápidos en respuesta a cualquier cambio en las condiciones del mercado o en la operación de la misión.
 - **Realizar análisis periódicos de riesgo financiero** y ajustar las estrategias en función de los resultados para asegurar la estabilidad a largo plazo.

Estas recomendaciones están diseñadas para mejorar la eficiencia operativa, maximizar el retorno de las inversiones, diversificar las fuentes de financiamiento y mantener la solidez financiera de la misión FACSAT-2. Implementar estas medidas puede ayudar a optimizar el rendimiento y asegurar la sostenibilidad.

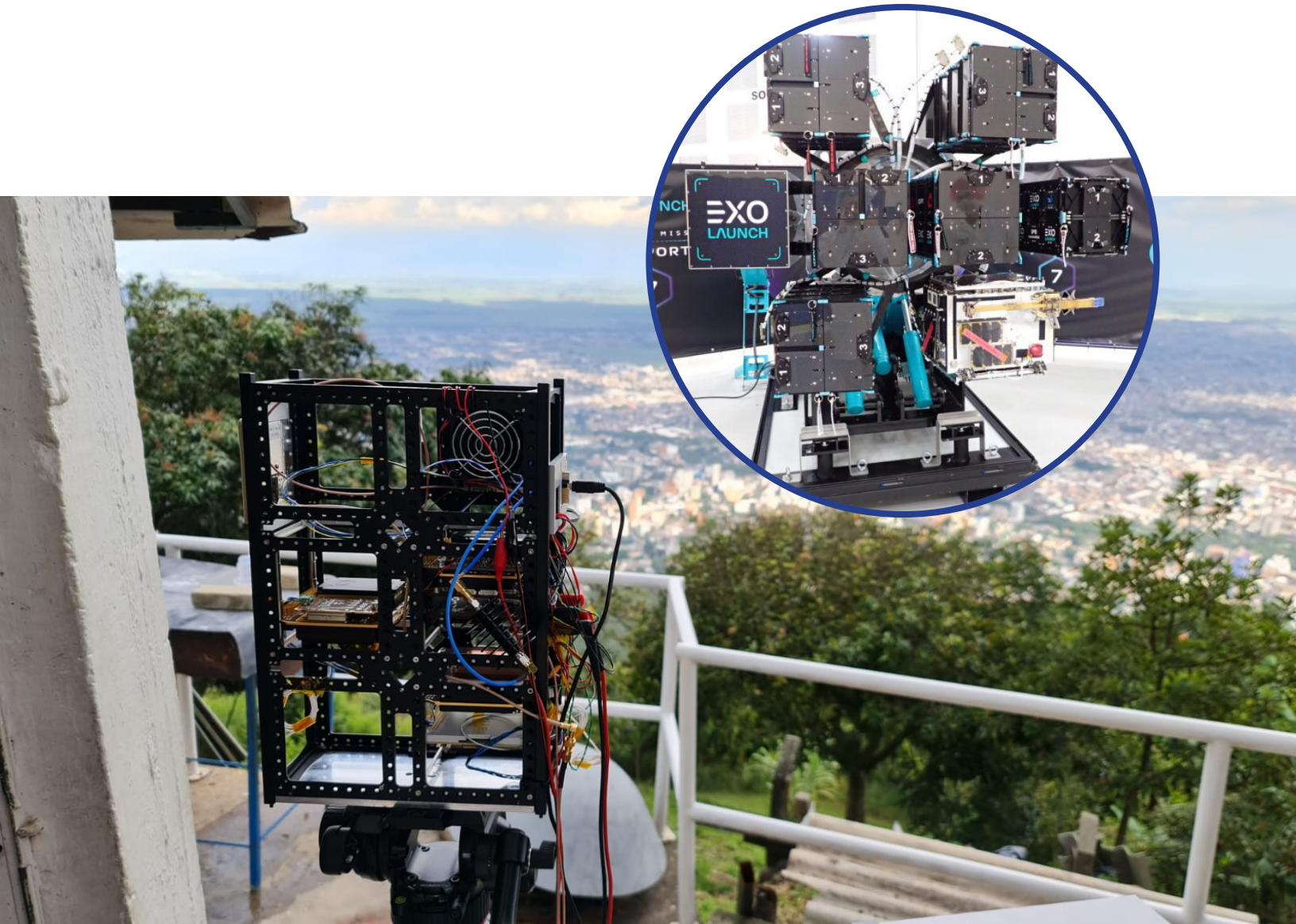
4.9 SÍNTESIS

El Programa de Transferencia de Conocimiento que provee la empresa aliada GomSpace y los demás entrenamiento y capacitaciones son fundamentales para el avance del sector espacial en Colombia, consolidando capacidades en la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y promoviendo la innovación tecnológica. Teniendo en cuenta la necesidad de fortalecer el talento humano y las habilidades en el desarrollo de misiones espaciales, el Programa de Transferencia de Conocimiento FACSAT que involucra el entrenamiento con un aliado Internacional, la capacitación formal en entidades nacionales e internacionales es imprescindible para el avance del sector espacial en Colombia, consolidando capacidades en la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y promoviendo la innovación tecnológica.

Con una inversión anual de \$ 548,997,361, el satélite FACSAT-2 logró una resolución satelital de 4.75 m/pixel (GSD) y generó 103 productos científicos, incluyendo ocho publicaciones y 12 desarrollos tecnológicos. Además, creó 90 empleos e involucra más de 30 empresas nacionales, mostrando un Retorno de Inversión (ROI) del 55.16 %, lo que refuerza su impacto positivo en la industria local y el progreso en el ámbito espacial.



El análisis muestra que el programa FACSAT-2 es económicamente viable y presenta una relación costo-beneficio favorable. La incorporación de técnicas innovadoras, como la simulación de escenarios económicos, refuerza la robustez del análisis. Además, el enfoque en la innovación tecnológica y su impacto en la industria espacial y otros sectores estratégicos subraya la importancia del proyecto.



5. CONCLUSIONES





4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el objetivo del proyecto de la factibilidad de la misión espacial FACSAT-2 se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Respecto al direccionamiento estratégico, resulta fundamental para la Fuerza Aérea Colombiana garantizar el acceso, uso, exploración y explotación autónoma del espacio, asegurando la independencia de las operaciones espaciales y la libertad de acción; estableciendo canales de cooperación internacional y enfocando el desarrollo de tecnologías espaciales, en la generación de capacidades para la defensa de la soberanía, independencia, integridad territorial y uso pacífico del espacio en beneficio de los intereses de Colombia y la humanidad. De esta manera, con el proyecto FACSAT-2, se:

- Consolida una capacidad estratégica que le aporta, tanto a la defensa como a los demás sectores, al producir un activo espacial con capacidades de observación de la tierra, que contribuirá con la entrega de datos espaciales oportunos y seguros que permiten: planificación urbana y regional, gestión ambiental, gestión del riesgo, recursos mineros y energéticos, así como a la seguridad y defensa con actividades como la vigilancia de fronteras, monitoreo de cultivos no lícitos, y vigilancia de infraestructura crítica.
- Impulsa una nueva área productiva basada en I+D+i, al co-diseñar y desarrollar el proyecto, la FAC y sus aliados apropiaran un conocimiento que permiten la construcción de sistemas e infraestructura espacial nacional. Sin embargo, la consolidación de la capacidad nacional y cierre de brechas, demandan la integración al programa FACSAT de las hélices academia, gobierno, industria, sociedad organizada y ambiente, para generar desarrollos puntuales, tales como: cargas útiles, componentes, soluciones ingenieriles, software, servicios, explotación de datos, empleando las tecnologías de la I4.0 (la personalización, el ambiente y lo humano para migrar a I5.0), lo que conlleva en el mediano plazo que la Industria Colombia sea parte la cadena de valor global del sector espacial (Rodríguez A, 2021; OECD, 2020; Coutinho, Cretan, & Jardim-Goncalves, 2013).

Respecto al direccionamiento legal y normativo, las iniciativas políticas en el campo aeroespacial en Colombia buscan establecer:

- Un marco de gobernanza que articula actores e instituciones, a través de la Comisión Colombia del Espacio. Estas iniciativas incluyen estrategias para el desarrollo del sector, la creación de una agenda de cooperación internacional y la adopción de un marco normativo. Sin embargo, se requiere la política espacial de Estado que vincule al sector privado en la financiación de proyectos nacionales y favorezca a las entidades públicas que utilicen imágenes satelitales (UNCTAD, 2021; Wood & Stober, 2018).
- El compromiso del gobierno con una política espacial de Estado impulsa el crecimiento y desarrollo tecnológico, económico y social, y debe incluir la cooperación y el apoyo de diferentes actores. La Política Espacial del Estado debe apoyarse en la pirámide de tecnología espacial propuesta por (Leloglu & Kocaoglan, 2008), para el desarrollo de la industria espacial, ya que Colombia tiene la posibilidad de crear, en un contexto de cooperación, iniciativas de proyectos en conjunto a nivel Sudamericano e incluso la creación de una Agencia Sudamericana Espacial.
- El Proyecto de Ley 496 del 2020 Cámara / 202 del 2020 Senado, ratifica el compromiso de Colombia con el desarrollo espacial, mediante la participación en el Tratado Espacial Internacional, con el fin de generar posibilidades de empleos y crecimiento industrial, creación de nuevas tecnologías (I4.0), avances en electrónica y sistemas de información (CCE, 2021). Desde el CONPES 3983 del 2020 de política de desarrollo espacial, se pretende favorecer el desarrollo de la industria aeroespacial que incremente la productividad, la diversificación y la sofisticación del aparato productivo colombiano (CONPES 3983, 2020). De igual manera, el CONPES 4129 (2023) Política Nacional de Reindustrialización, establece la generación de un mercado Nacional del mercado aeroespacial que nace desde el aprovechamiento de las capacidades de la industria militar, a través de la transferencia tecnológica que fortalezca el desarrollo de la industria privada y la academia.
- En cuanto a la viabilidad normativa, existen estándares y normas que deben cumplirse para el diseño, funcionalidad y operatividad de los satélites como el estándar (ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW, 2016).

Respecto a los Requerimientos Técnicos y tecnológicos se hace necesario el acompañamiento de un experto que ofrezca las capacidades y garantice la confiabilidad y el cumplimiento del estándar espacial obligatorio para el lanzamiento de la plataforma al espacio. La alianza con una empresa experimentada, como GOMspace permite garantizar el desarrollo de un satélite funcional en el menor tiempo y que cumpla con los estándares de la regulación espacial, es decir, garantizar la calidad paralela a la apropiación de



conocimiento. La estrategia de esto, debe revisarse a la luz de la renovación tecnológica, ya que cuando Colombia logre apropiarse las tecnologías en función de las limitaciones de sus recursos y pueda desarrollarlas de manera autónoma, la tecnología será obsoleta. Por ello, debe evaluarse la capacidad y sistemas en los que debe focalizar los desarrollos autónomos. Todo esto, debido a:

- El diseño de la misión tiene establecida la aplicación de regulación normativa TEC-SY/128/2013/SPD/RW de la ESA. Sin embargo, no se posee con habilidades ni experiencias previas en la implementación del estándar. Se identifica que, para el desarrollo del proyecto se cuenta con una estructura de trabajo establecida WBS paralela entre la FAC y el aliado GOMspace, que permite cumplir con las actividades de diseño y desarrollo supervisadas.
- En cuanto a equipos, materiales y herramientas se cuenta con una capacidad instalada para desarrollar el diseño preliminar en Colombia, bajo la premisa de que los componentes y equipos cuentan con la calificación espacial.
- Aunque el personal de la FAC posee conocimiento y experiencia en sistemas aeronáuticos y afines, la no experticia y habilidades en los distintos sistemas de tecnologías espaciales requieren de la reducción de las brechas mediante capacitación formal y la transferencia de conocimiento y tecnología con un aliado experto.
- Se sugiere que el equipo de especialistas, durante el proceso de apropiación tecnológica, conozca de otros requerimientos operacionales asociados al desarrollo de la plataforma, tales como pruebas menores no detalladas, manejo de estándares, regulaciones internacionales, logística y gestiones contractuales, gerencia de sistemas espaciales permisos y gestiones de lanzamiento, entre otros.
- A pesar de la inversión, se reconoce que la infraestructura actual aún no es suficiente para la integración y pruebas de un modelo de vuelo satelital. La confiabilidad del satélite, depende directamente de las pruebas de laboratorio que se realizan en las etapas de desarrollo, tanto del CubeSat, como de sus subsistemas.

Respecto al direccionamiento económico, el estudio llevado a cabo formula conclusiones que aportaran al desarrollo del programa FACSAT, a partir de las inversiones realizadas para lograr la misión espacial FACSAT-2:

- Teniendo en cuenta las proyecciones generadas con base en los costos establecidos en el Programa FACSAT se puede indicar que genera una tasa interna de retorno del 74.05 %, la cual representa un retorno de inversión superior al esperado (20 % - 30 %

para proyectos tecnológicos de alto riesgo), es decir, que en términos de utilidad se puede indicar que por cada \$ 100 pesos invertidos se genera una utilidad de \$ 74. La tasa interna de retorno es positiva y superior a la tasa esperada lo que significa que el PROYECTO ES VIABLE.

- El valor presente neto (VPN) de \$ 30.765.574.006, que representa que el programa es VIABLE en el horizonte de estudio de 15 años, ya que el valor de retorno es MAYOR QUE CERO.
- El tiempo estimado para recuperar la inversión al replicar el modelo FACSAT-2 seis veces y utilizarlo en un período de 15 años, se alcanza en los primeros 25 meses.

En conclusión, el desarrollo del programa FACSAT es factible bajo el esquema de apropiar tecnología e implementar desarrollos locales (alianza con empresa nacional y academia), y mantener soporte de un aliado extranjero que acompañe el desarrollo de la misión y mitigue la obsolescencia de las tecnologías desarrolladas. Este enfoque no solo garantiza el éxito de la misión, sino que también mitiga la obsolescencia tecnológica en un contexto marcado por la rápida evolución del NewSpace. La colaboración con expertos internacionales sigue siendo clave para fortalecer capacidades espaciales que atiendan necesidades de defensa, seguridad y otros objetivos estratégicos del Estado.

El análisis de viabilidad económica del programa FACSAT-2 arroja resultados altamente positivos, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 74,05 %, superando ampliamente las expectativas para proyectos de alto riesgo. Estos indicadores respaldan la replicabilidad del modelo FACSAT-2, consolidando una infraestructura robusta y una capacidad operativa que permiten a Colombia proyectarse hacia misiones más ambiciosas, como el desarrollo de una constelación de satélites y la incursión en la categoría de microsátélites de hasta 100 kg. Este progreso representa un hito significativo en la evolución de la infraestructura espacial del país y en su integración en la economía global del espacio.

6. BIBLIOGRAFÍA



6. BIBLIOGRAFÍA

- Advanced Space Operations School. (2020). *Course Materials Property of ASOPS. Space Law* (p. 32). Peterson, Colorado: Advanced Space Operations School.
- AEM. (2016). *Mejores prácticas para el diseño de Cubesats*. Foro, Secretaría de Comunicaciones y Transportes -SCT, Agencia Espacial Mexicana -AEM, Jalisco 2016. Recuperado el 12 de Julio de 2021, de <https://docplayer.es/77363921-Mejores-practicas-para-el-diseno-de-cubesats.html>
- AEM, Agencia Espacial Mexicana. (2019). Secretaría de Comunicación y Transportes. Obtenido de http://www.educacionespacial.aem.gob.mx/images/normateca/pdf/CURSO_ISE/Modulo_3.pdf
- Alén. (24 de Octubre de 2022). *A Basic Guide to Nanosatellites*. Obtenido de Nanosatellites: <https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/>
- Alén.space. (2021). <https://alen.space/>. doi:<https://alen.space/es/guia-basica-nanosatelites/>
- Alonso, J. C., & Semaán, P. (2009). Cálculo del Valor en Riesgo y Pérdida Esperada mediante R: Empleando modelos con volatilidad constante. *Apuntes de Economía* (21), 15.
- Álvarez Calderón, C. E., & Corredor Gutiérrez, C. G. (2019). *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia*. *El Cielo no es el límite: El futuro estelar de Colombia* (Primera ed., Vol. 2). Bogotá, Colombia: Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" - Fuerza Aérea Colombiana. Recuperado el 20 de Junio de 2021
- Álvarez Calderón, C. E., & Corredor Gutiérrez, C. G. (2020). *El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia - Mirando las estrellas: una constante necesidad humana* (Primera ed., Vol. 1). Bogotá, Colombia: Escuela Superior de Guerra «General Rafael Reyes Prieto» y las Fuerza Aérea Colombiana. doi:<https://doi.org/10.25062/9789585245624>
- Arroyo Herrera, C. D., & Galíndez Rentería, J. A. (2020). *Aplicación de Redes Neuronales Generativas en el Mejoramiento de la Calidad de Imágenes Satelitales*. Trabajo de grado - Pregrado, Universidad Autónoma de Occidente -UAO, Ingeniería Mecatrónica, Santiago de Cali, Colombia. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/handle/10614/12725>



- Baca Urbina, G. (2007). *Fundamentos de Ingeniería Económica* (Cuarta Edición ed.). México: Mc Graw Hill.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos* (Sexta ed.). México: McGraw Hill.
- Bautista Mera, R. (2012). *Incertidumbre y riesgos en decisiones financieras*. Bogotá: Ecoe ediciones.
- Becerra, J. (2014). *El principio de la libertad en el derecho espacial*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Bernabé-Poveda, M. A., & López-Vásquez, C. M. (2012). *Fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales*. Madrid, España: UPM Press. Obtenido de http://redgeomatica.rediris.es/Libro_Fundamento_IDE_con_pastas.pdf
- Betancur Ríos, M. E., Calle López, A. M., & Herrera Muñoz, V. M. (2005). *Modelo de evaluación de portafolios de inversión bajo ambientes de incertidumbre*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.
- Bey Ruiz, D. (2006). *Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave*. Cádiz (España): Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias. Ingeniería química.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). *Ingeniería Económica*. México: McGraw Hill.
- Bohórquez Garzón, Y. S. (2018). *Diseño Conceptual y Preliminar de un CubeSat de bajo costo*. Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Aeronáutico. Bogotá: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES. Obtenido de https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1770/Bohorquez_Yefferson_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bohorquez, G. Y. (2018). *Diseño Conceptual y Preliminar de un CubeSat de bajo costo*. Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Aeronáutico. Bogotá: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES. Obtenido de https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1770/Bohorquez_Yefferson_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cámara de Comercio de Bogotá. (3 de Noviembre de 2020). *¿Qué son los Clusters y dónde están ubicados?* Recuperado el 3 de Noviembre de 2020, de <https://www.ccb.org.co/Preguntas-frecuentes/Iniciativas-de-Clusters/Que-son-los-Clusters-y-donde-estan-ubicados>

- Cappelletti, C., Battistini, S., & Malphrus, B. K. (2021). *Cubesat Handbook from mission desing to operations*. London: Elsevier. Recuperado el 23 de Julio de 2021, de <https://www.elsevier.com/books-and-journals>
- Caro Mejía, K. (2019). *Propuesta para el desarrollo de la Guía Técnica de Autoevaluación para el reconocimiento del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) ante Colciencias respecto a la dimensión estrategia*. Santiago de Cali, Colombia: Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Recuperado el 4 de Julio de 2021
- CCE. (2020). *Análisis costo-beneficio para la adquisición de infraestructura satelital de observación de la tierra*. Infome económico, Comisión Colombiana del Espacio, FAC, Bogotá D.C.
- CCE. (2021). Aprobado proyecto de ley que ratifica el compromiso de Colombia con el desarrollo espacial. Nota Informativa, Comisión Colombiana del Espacio, Sala de prensa, Bogotá. Obtenido de <http://cce.gov.co/prensa/Paginas/Aprobado-proyecto-de-ley-que-ratifica-el-compromiso-de-Colombia-con-el-desarrollo-espacial.aspx>
- Cisco. (22 de Diciembre de 2020). Marketscreener. Recuperado el 11 de Julio de 2021, de <https://www.marketscreener.com/quote/stock/GOMSPACE-GROUP-AB-PUBL-39436512/news/GomSpace-nbsp-signs-a-three-party-cooperation-contract-to-develop-science-and-technology-activitie-32067600>
- CITAE. (2023). Misión Espacial FACSAT-2 con GOMspace. Presentación interna del proyecto, Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Jefatura de Estudios Aeroespaciales (JEA), Santiago de Cali.
- Congreso de la República de Colombia. (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad. PND 2018-2022, Congreso de la República de Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>
- Conpes 3528. (2008). MODIFICACIÓN AL CONPES 3469 DEL 30 DE ABRIL DE 2007: LINEAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LA MERCANCÍA Y LA SEGURIDAD EN LOS NODOS DE TRANSFERENCIA DE COMERCIO EXTERIOR. Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Econ%C3%B3micos/3528.pdf>



- CONPES 3866. (2016). Política Nacional de Desarrollo Productivo. Decisiones de política pública aprobadas, Departamento Nacional de Planeación (DNP), Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), Bogotá, D.C. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3866.pdf>
- CONPES 3958. (2019). Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multipropósito. Consejo Nacional de Política Económica y Social (Lineamientos de política), República de Colombia, DNP, DAPRE, MinHacienda, MinAgricultura, MOD, MINTIC, DANE, DAFP, IGAC, Superintendencia de Notariado y Registro, Agencia Nacional de Tierras, Bogotá DC. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3958.pdf>
- CONPES 3983. (2020). Política de Desarrollo Espacial: Condiciones Habilitantes Para el Impulso de la Competitividad Nacional. Consejo Nacional de Política Económica y Social, Distrito Capital. Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social. Recuperado el 13 de 11 de 2020, de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/normograma/conpes_3983.pdf
- CONPES 4129. (2023). Política Nacional de Reindustrialización. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES). Bogotá D.C: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4129.pdf>
- Constitución Política de Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia. (C. S. Judicatura, Ed.) Bogotá, Colombia: Centro de documentación judicial. doi:www.corteconstitucional.gov.co
- Corredor, G., & Benavidez, E. (Diciembre de 2019). Transferencia de tecnología y desarrollo de capacidades para el Programa Espacial Colombiano mediante pequeños satélites. TecnoEsufa, 29, 68. Recuperado el 10 de Julio de 2021
- Cortés García, E. D., Acuña Mateus, D. F., & Pachón Pinilla, J. A. (2019). Diseño, construcción y experimentación de un satélite de pequeña escala. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 3 de Agosto de 2021
- Court, E. (2009). Aplicaciones para finanzas empresariales (Primera ed.). México: Pearson Educación.
- Coutinho, C., Cretan, A., & Jardim-Goncalves, R. (3 de Agosto de 2013). Sustainable interoperability on space mission feasibility studies. (E. B.V., Ed.) Computers in Industry, 64(8), 925-937. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2013.06.016>

- Cubesat. (Febrero de 2022). <https://www.cubesat.org/>. Recuperado el 15 de Julio de 2024, de <https://www.cubesat.org/cubesatinfo>
- Cubesatmodules. (2013). Ece 3 Sat. Obtenido de <http://www.ece3sat.com/cubesatmodules/obc/>
- Cuevas Villegas, C. F. (2010). Contabilidad de Costos. Bogotá (Colombia): Pearson Educación.
- Dallamuta, J. P., & Rocha de Oliveira, M. (2023). Space missions in South America: Profile and evolutionary perspective of their development. *Acta Astronautica*, 9-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.02.008>
- Decreto 410 de 1971 Nivel Nacional. (2020). Código de Comercio de Colombia. Bogotá D.C: Legis Editores S.A. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=41102>
- Decreto Ley 1295. (1994). Determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Bogotá. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1295_1994.html
- Delgado, L. (2021). ¿Qué es el Balanced Scorecard o Cuadro de Mando Integral? Un resumen. Obtenido de <https://gestion.pensemos.com/que-es-el-balanced-scorecard-o-cuadro-de-mando-integral-un-resumen>
- Delgado, S. (26 de Junio de 2018). <https://fundtrafic.org/>. Recuperado el 27 de Noviembre de 2023, de <https://fundtrafic.org/cuales-son-los-riesgos-laborales-de-los-comerciales-y-como-reducirlos/>
- Distribuidora Rayco S.A. (8 de Septiembre de 2021). <http://www.disrayco.com>. Recuperado el 8 de Septiembre de 2021, de http://www.disrayco.com/salud_ocupacional/index.php?id=14
- DNP. (23 de Enero de 2020). DNP. Obtenido de <https://dnp.gov.co/Paginas/CONPES-de-politica-espacial-el-camino-hacia-tecnologias-satelitales.aspx>
- Docplayer. (2016). <https://docplayer.es>. Recuperado el 12 de Julio de 2021, de <https://docplayer.es/77363921-Mejores-practicas-para-el-diseno-de-cubesats.html>
- Doyle, S. E. (2011). En I. I. Law, *New perspectives on space law. A concise history of space*, (págs. 1-24). Bangalore, India. Obtenido de <https://www.iislweb.org/website/docs/2010keynote.pdf>



- Duarte Muñoz, C. (02 de Abril de 2018). *Hacia el Espacio*. Recuperado el 22 de Agosto de 2021, de <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articulo.php?interior=780>
- Durango Quintero, L. A. (2021). *Diseño de un sistema de planeación para la adquisición de partes y componentes para ensamblar un satélite CubeSat de 3U*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle. Recuperado el 23 de Agosto de 2021
- ECSS. (1999). ECSS-M-30-01A Space project management. Norma, European Cooperation for Space Standardization -ECSS, ESA--ESTEC, Netherlands. Obtenido de <https://ecss.nl/standard/ecss-m-30-01a-organization-and-conduct-of-reviews-1-september-1999/>
- ECSS. (2017). Ingeniería Espacial - Requerimientos generales de Sistemas de ingeniería. Noordwijk, Holanda: ESA Requirements and Standards Division. doi:<https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-10c-system-engineering-general-requirements/>
- Ehrhardt, M., & Brigham, E. (2007). *Finanzas Corporativas*. México: Cengage Learning Editores, S.A.
- El Internacionalista. (24 de Agosto de 2023). <https://elinternacionalista.net/>. Recuperado el 8 de Diciembre de 2023, de <https://elinternacionalista.net/brics-para-fortalecer-la-no-proliferacion-de-armas-de-destruccion-masiva/>
- Elm, J. P., Goldenson, D. R., El Emam, K., Donatelli, N., & Neisa, A. (2008). A Survey of Systems Engineering Effectiveness - Initial Results (with detailed survey response data). SPECIAL REPORT CMU/SEI-2008-SR-034, Software Engineering Institute -SEI; National Defense Industrial Association - NDIA;) Systems Engineering Effectiveness Committee (SEEC) , National Defense Industrial Association. Obtenido de <http://www.sei.cmu.edu/>
- Enfermería APS. (2024). Glosario de Salud Ocupacional. Recuperado el 8 de Septiembre de 2021, de http://www.enfermeriaaps.com/portal/?wpfb_dl=4106
- eoportal. (Enero de 2024). Obtenido de <https://www.eoportal.org/satellite-missions>
- ESA, ECSS-E-ST-10-02C. (2009). Verification. ECSS , ECSS Secretariat . Noordwijk, The Netherlands : Requirements & Standards Division. Obtenido de <http://everyspec.com/ESA/download.php?spec=ECSS-E-10-02C.047796.pdf>
- ESA, ECSS-E-ST-10C. (2009). SESS - Systems Engineering Standards And Specifications. Norma, ECSS, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands.

Obtenido de <http://everyspec.com/ESA/download.php?spec=ECSS-E-ST-10C.047801.pdf>

ESA, TEC-SY/128/2013/SPD/RW. (2016). Tailored ECSS Engineering Standards for In-Orbit. Demonstration CubeSat Projects. ESA. TEB. Obtenido de https://copernicus-masters.com/wp-content/uploads/2017/03/IOD_CubeSat_ECSS_Eng_Tailoring_Iss1_Rev3.pdf

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2018). Manual del modelo de investigación del sistema educativo (MAINV) de la FAC. FAC, Ministerio de Defensa. Bogotá DC: FAC.

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2018). Fuerza Aérea Colombiana pone en órbita el FACSAT-1, su primer satélite de observación. Comunicado, Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Ministerio de Defensa, Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.cgfm.mil.co/es/multimedia/noticias/fuerza-aerea-colombiana-pone-en-orbita-el-facsat-1-su-primer-satelite-de>

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (9 de Noviembre de 2020). <https://www.fac.mil.co>. *Inicia desarrollo de segunda plataforma satelital de su Fuerza Aérea Colombiana: FACSAT-2*. Bogotá D.C, Colombia. Recuperado el 9 de Septiembre de 2021, de <https://www.fac.mil.co/es/noticias/inicia-desarrollo-de-segunda-plataforma-satelital-de-su-fuerza-aerea-colombiana-facsat-2>

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2020). *Estrategia para el desarrollo aéreo y espacial de la Fuerza Aérea Colombiana 2042*. Bogotá, Colombia: Fuerza Aérea Colombiana. Obtenido de <https://www.fac.mil.co/edaesfac2042>

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2020). Manual de Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial -DBAEC. Bogotá, D. C.: Fuerza Aérea Colombiana. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/513275311/FAC-0-B-DBAEC-2020-V-EDICION>

Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (11 de Marzo de 2021). Editorial. El cielo no es el limite. *Revista Aeronáutica*(300), 30. Recuperado el 12 de Junio de 2021, de https://issuu.com/revistafuerzaaerea/docs/edici_n_300_revista_aeron_utica

FEMIA. (2011). Pro-Aéreo 2012 - 2020. Programa Estratégico de la Industria Aeroespacial. Programa Estratégico, Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial, Secretaría de economía. Recuperado el 3 de noviembre de 2020, de http://www.2006-2012.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/proaereo_bueno.pdf



- Feria Domínguez, J. M. (Mayo de 2004). Valor del Riesgo Relativo (VeR): Más allá de la teoría de carteras. *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)*, 3(1), 26. Recuperado el 8 de Diciembre de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4056115.pdf>
- Feria Domínguez, J. M., & Oliver Alfonso, M. D. (2006). Valor en Riesgo (VeR): concepto, parámetros y utilidad. Grupo Recoletos Comunicación, 2.
- Firesmith, D. (2009). The Method-Framework for Engineering System Architectures (MFESA). In *System and Software Technology Conference (SSTC)*, 1, pág. 153. Pittsburgh, Pensilvania. Obtenido de https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/Presentation/2009_017_001_23622.pdf
- Fundación Innovación Bankinter. (14 de Mayo de 2019). <https://www.fundacionbankinter.org>. doi:https://www.fundacionbankinter.org/wp-content/uploads/2021/09/Publicacion-PDF-ES-FTF_Espacio.pdf
- Galdorisi, G. (18 de May de 2013). U.S. Navy Missile Defense: Operation Burnt Frost: U.S. Navy missile defense, yesterday, today, and tomorrow, Part 17. DMN - Defense Media Network, pág. 15. Obtenido de <https://www.defensemmedianetwork.com/stories/u-s-navy-missile-defense-operation-burnt-frost/>
- Garcés Ruiz, A., & Gómez Carmona, O. (Agosto de 2007). Calculo del valor en Riesgo (VAR) en el despacho hidrotérmico a mediano plazo. *Scientia Et Technica*, XIII(35), 31-36.
- García Dunna, E., García Reyes, H., & Cárdenas Barrón, L. E. (2006). Simulación y análisis de sistemas con Promodel. México: Pearson Educación.
- García Martínez-Peñalver, F., Gago Areces, M., & Fontán Oñate, E. (2014). El espacio, una realidad económica. *Cuadernos de estrategia*(170), 119-160. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4989125>
- Gava, L., Ropero, E., Serna, G., & Ubierna, A. (2008). Dirección Financiera. Decisiones de inversión. Madrid, España: Delta.
- Gerencie.com. (3 de Noviembre de 2020). Gerencie.com. Obtenido de <https://www.gerencie.com/definicion-de-grupo-empresarial.html>
- Gitman, L.J., & Zutter, C.J. (2012). Principios de administración financiera (Decimosegunda ed.). México: Pearson Educación.

- GOMspace. (2014). GOMX-3. Obtenido de directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/gomx-3
- GOMspace. (2018). NanoStructure 6U - Datasheet: 6U structure for nano-satellites. GOMspace, Dinamarca. Obtenido de <https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-ds-nanostructure-6u-11.pdf>
- GOMspace. (10 de Noviembre de 2020). Latamsatelital. Recuperado el 11 de Julio de 2021, de <http://latamsatelital.com/la-fuerza-aerea-de-colombia-desarrolla-facsat-2/>
- GOMspace. (20 de Octubre de 2020). News.Cisión.com. Recuperado el 2021 de Junio de 12, de <https://news.cision.com/gomspace-a-s/r/the-colombian-air-force-initiates-its-second-advanced-nanosatellite-mission-with-gomspace,c3228185>
- GOMspace. (2021). <https://gomspace.com>. Recuperado el 22 de Julio de 2021, de <https://gomspace.com/global-tracking.aspx>
- Guerrero Monta, C. E. (2018). Diseño del subsistema de comunicaciones y estudio de factibilidad técnico económico para la puesta en órbita de un cubesat por parte de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica de la Escuela Politécnica Nacional. Quito: Escuela Politécnica Nacional. doi:<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19156>
- HerreraArroyave, J. E. (2015). Diseño estructural de un sistema CubeSat con recubrimiento de barrera térmica. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. doi:<https://llibrary.co/document/9yn2xk0y-diseno-estructural-sistema-cubesat-recubrimiento-barrera-termica.html>
- <http://www.banrep.gov.co>. (s.f.). Recuperado el 16 de 07 de 2013, de <http://www.banrep.gov.co/es/series-estadisticas>: http://www.banrep.gov.co/es/series-estadisticas/see_tas_inter_capt_sem_men.htm
- IEEE P1220. (1994). Standard for system engineering-a commercial standard for improving competitiveness. Norma, IEEE, Fort Worth, TX, USA. doi:<https://doi.org/10.1109/DASC.1993.283580>
- INCOSE. (2015). Systems Engineering Handbook (Cuarta ed.). (D. Walden, G. Roelder, K. Forsberg, D. Hamelin, & T. Shortell, Edits.) San Diego, California, EEUU: Wiley. Obtenido de <https://img1.wsimg.com/blobby/go/a430a7ae-a333-4c88-af76-fd5624bfbddd/downloads/INCOSE%20Systems%20Engineering%20Handbook%204e%202015%2007.pdf?ver=1604878104477>



- Infoespacial. (29 de Noviembre de 2018). Colombia lanza hoy su Facsat-1. Infoespacial, pág. 1. Obtenido de <https://www.infoespacial.com/texto-diario/mostrar/3567278/colombia-lanza-hoy-facsat-1>
- Inzelt, A. (September de 2004). The evolution of university-industry-government relationships during transition. *Research Policy*, 33(6-7), 975-995. doi:<https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.03.002>
- Jara Padilla, R., & Melgar Chamorro, J. P. (2007). VaR vs. CVaR. ¿Qué estimador se ajusta mejor al riesgo de mercado de renta variable en el Perú? *Global Risk Management* (Griskm).
- JAXA. (2013). Research on the technology of space systems. Documento informativo, Japan Aerospace Exploration Agency -JAXA. Obtenido de <https://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/system/system.html>
- Jiménez Mora, G. (14 de Mayo de 2016). <http://www.fuerzasmilitares.org>. Recuperado el 10 de Julio de 2021, de <http://www.fuerzasmilitares.org/opinion/6852-colombia-espaciales.html>
- Johnson, C. (2014). The UN Group of Governmental Experts on Space TCBMs. Secure World Foundation . Obtenido de https://swfound.org/media/109311/swf_gge_on_space_tcbms_fact_sheet_april_2014.pdf
- Klein, J. J. (2016). Space warfare: deterrence, dissuasion and the law of armed conflict. Commentary, War on rocks, Politics, Virginia. Obtenido de <https://warontherocks.com/2016/08/space-warfare-deterrence-dissuasion-and-the-law-of-armed-conflict/>
- Kolade, O., Adegbile, A., & Sarpong, D. (2022). Can university-industry-government collaborations drive a 3D printing revolution in Africa? A triple helix model of technological leapfrogging in additive manufacturing. *Technology in Society*, 69(101960), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101960>
- Krebs, G. D. (2024). FACSAT 2 (Chibiriquete). Gunter's Space Page. Recuperado el 13 de Enero de 2024, de https://space.skyrocket.de/doc_sdat/facsat-2.htm
- Kulu, E. (31 de May de 2024). www.nanosats.eu. Recuperado el 3 de Agosto de 2021, de <https://www.nanosats.eu/#info>
- Le Moigne, J., Adams, J. C., & Nag, S. (2020). A New Taxonomy for Distributed Spacecraft Missions. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote*

- Sensing, v. 13, p. 872–883, 2020. IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, 13, 872–883. doi:10.1109/JSTARS.2020.2964248
- Legis Xperta. (1994). <https://xperta.legis.co/>. Recuperado el 27 de Noviembre de 2023, de https://xperta.legis.co/visor/segsocia/segsocia_9a3185e349614a9597e597e48d720e08
- Leloglu, U., & Kocaoglan, E. (1 de December de 2008). Establishing space industry in developing countries: Opportunities and difficulties. *Advances in Space Research*, 42(11), 1879–1886. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.03.010>
- Ley 100. (1993). Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones. Norma, Bogotá DC. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0100_1993.html
- Ley 1955. (25 de Mayo de 2019). Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022. “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”. Bogotá, Colombia: DIARIO OFICIAL. AÑO CLV N. 50964, 25 MAYO DE 2019, PAG. 1. Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30036488>
- Manotas Duque, D. F. (2008). Material de Clase: Modelos Financieros en logística. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Manotas Duque, D. F., & Toro Díaz, H. H. (2008). Material de Clase: Evaluación de proyectos utilizando el criterio Valor Presente Neto en Riesgo (VPN en Riesgo). Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Mark, C. R. (2004). *Satellite Communications for the Nonspecialist*. 208. SPIE Press.
- Martí, A. (2020). La NASA se alía con SpaceX, Blue Origin y otras empresas para diseñar el vehículo que vuelva a llevar al ser humano a la Luna. Xataka. Obtenido de <https://www.xataka.com/espacio/nasa-se-alia-spacex-blue-origin-otras-empresas-para-disenar-vehiculo-que-vuelva-a-llevar-al-ser-humano-a-luna>
- Martín Mato, M. A. (2009). El Condicional Value at Risk en la gestión de carteras latinoamericanas. pp. 105–117.
- Martínez Abascal, E. (2013). *Finanzas para Directivos* (Segunda ed.). Madrid (España): McGraw Hil.
- Mascareñas, J. (2008). Introducción al VaR. En J. Mascareñas. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas* (p. 8). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.



- Melo Velandia, L. F., & Camargo Becerra, O. R. (2004). *Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una aplicación del VaR y el ES a la tasa interbancaria de Colombia*. Gerencia Técnica.
- Minciencias. (2021). *Diagnóstico de capacidades científicas y tecnológicas del sector espacial y áreas de conocimiento afines*. Diagnóstico de capacidades, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación -Minciencias; Ministerio del Trabajo; Departamento Nacional de Planeación, Dirección de gestión de recursos, Bogotá D.C.
- Minciencias. (2022). *Estrategia nacional de sensibilización y apropiación social del conocimiento en temáticas espaciales y satelitales*. Estrategia de sensibilización y apropiación, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación -Minciencias, Bogotá D.C.
- Minciencias. (2022). *Estrategia para el cierre de brechas de capacidades, conocimiento, redes e infraestructura y fortalecimiento de actores de CTel en temáticas espaciales*. Informe de Cierre de Brechas, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación -Minciencias, Dirección de gestión de recursos, Bogotá D.C.
- Minciencias. (27 de Diciembre de 2023). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Obtenido de Glosario: <https://minciencias.gov.co/glosario/acti#:~:text=Actividades%20de%20Ciencia%2C%20Tecnolog%C3%ADa%20e,los%20conocimientos%20cient%C3%ADficos%20y%20t%C3%A9cnicos>.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo - Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Metodología tipo de pre-identificación de apuestas productivas a nivel departamental*. Bogotá. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Metodologia%20Priorizacion%20PDP%20-%20FINAL.pdf>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018). *Diccionario: Planeación de Capacidades de la Fuerza Pública*. Ministerio de Defensa Nacional. Bogotá D.C: Capácitas. Obtenido de http://capacitas.mindefensa.gov.co/storage/biblioteca/Diccionario_del_Modelo_de_Planeacion_y_Desarrollo_de_Capacidades_de_la_Fuerza_Publica.pdf
- Ministerio de Protección Social. (2011). *Guía Técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional para el proceso de evaluación en la calificación de origen de enfermedad*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Recuperado el 6 de Septiembre de 2021

- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (24 de Junio de 1994). <http://www.secretariasenado.gov.co>. Recuperado el 5 de Septiembre de 2021, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1295_1994.html
- NASA. (2007). *Systems Engineering Handbook*. Washington, D.C., Estados Unidos: National Aeronautics and Space Administration. doi:https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook.pdf
- NASA. (2017). *CubeSat101 - Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers*. (S. L. California Polytechnic State University, Ed.) California, Estados Unidos: NASA CubeSat Launch Initiative. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de http://go.nasa.gov/CubeSat_initiative
- NASA. (12 de Diciembre de 2019). *Nasa*. Recuperado el 30 de Agosto de 2021, de https://www.nasa.gov/seh/2-1_technical-processes
- NASA. (2024). *State-of-the-Art: Small Spacecraft Technology*. NASA/TP–2024–10001462, NASA, Small Spacecraft Systems Virtual Institute, Moffett Field, California. Obtenido de <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/>
- Nascetti, A., Caputo, D., Scipinotti, R., & de Cesare, G. (November-December de 2016). Technologies for autonomous integrated lab-on-chip systems for space missions. *Acta Astronautica*, 128, 401-408. doi:[doi:10.1016/j.actaastro.2016.07.036](https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.07.036)
- OECD. (2004). *Space 2030: Exploring the Future of Space Applications*. París: OECD Publishing. doi:<https://doi.org/10.1787/9789264020344-en>
- OECD. (2005). *Space 2030: Tackling Society's Challenges*. París: OECD Publishing. doi:<https://doi.org/10.1787/9789264008342-en>
- OECD. (2008). *Space Technologies and Climate Change*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), París.
- OECD. (2012a). *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). París, Francia: OECD Publishing. doi:<https://doi.org/10.1787/9789264169166-8-es>
- OECD. (2013). *Space Technologies and Food Security*. Informe, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), París.
- OECD. (2013). *Space Technologies and Major Threads*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), París.



- OECD. (7 de Octubre de 2020). Measuring the economic impact of the space sector - Key indicators and options improve data. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Arabia Saudí: OECD. Recuperado el 5 de Septiembre de 2022, de <https://www.oecd.org/sti/inno/space-forum/measuring-economic-impact-space-sector.pdf>
- Organization For Economic Co-Operation & Development. (2012). Handbook or Measuring Space Economy. París: OCDE Publishing. Recuperado el 13 de 11 de 2020, de <https://www.yumpu.com/en/document/read/7242886/oecd-handbook-on-measuring-the-space-economy-oecd-online->
- Ortega, G. (14 de Octubre de 2009). <https://www.gr.ssr.upm.es/>. Recuperado el 22 de Agosto de 2021, de Grupo de Radiación: https://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/picosatelites/LN11_Sesion2_Analysis_of_Space_Missions_GOrtega.pdf
- Pelton, J. N., Potter, M., & Stott, C. (2018). Newspace Services and Industries. En J. N. Pelton, & A. P. Buckley, *The Farthest Shore. A 21st Century Guide to Space* (Segunda ed., Vol. I, pág. 433). USA: Apogee Books / International Space University.
- Pérez Díaz, E. D., & Sáenz Acuña, J. D. (2019). Propuesta de una estructura organizacional para el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Aeroespaciales. Santiago de Cali, Colombia: Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”. Recuperado el 7 de Julio de 2021
- PND 2018-2022. (2019). Bases del Plan Nacional de desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad. Plan Nacional de Desarrollo de Colombia 2018-2022, Plan Nacional de Desarrollo, Bogotá D.C. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/BasesPND2018-2022n.pdf#page=625&zoom=100,132,138>
- Rebollar, B. (11 de Octubre de 2018). <https://www.gob.mx>. Recuperado el 3 de Agosto de 2021, de Agencia Espacial Mexicana: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/408254/11-1710-1750_Blanca_Rebollar-01-C.pdf
- Resolución 0549 DANE. (2020). *Por la cual se modifica la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas adaptada para Colombia – CIIU Rev. 4 A.C. y e dictan otras .* Resolución, Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/acerca/Normatividad/resoluciones/2020/Resolucion-0549-de-2020.pdf>

- Resolución 066 DANE. (2012). -b-. (31 de 01 de 2012). Por la cual se establece la Clasificación de Actividades Económicas - CIIU Rev. 4 A.C. Recuperado el 18 de 11 de 2020, de CIIU Rev. 4 A.C.: . Resolución, Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, Bogotá D.C. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/sen/nomenclatura/ciiu/normatividad/Resolucion066_2012.pdf
- Resolución 376. (2022). *Requisitos y el trámite para el otorgamiento del permiso para el uso del espectro radioeléctrico asociado a servicios por satélite*. Norma, Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones, Bogotá D. C. Obtenido de https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-6400_resolucion_376_2022.pdf
- Resolución 467. (2020). *Procedimiento para el otorgamiento de permisos temporales para el uso del espectro radioeléctrico destinado a la realización de pruebas técnicas*. Norma, Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones, Bogotá D.C. Obtenido de http://www.nuevaleislacion.com/files/susc/cdj/conc/r_mtic_467_20.pdf
- Rincón, S. R., Cárdenas, J. M., Riaño, P. A., & Pirazán, K. N. (2021). Capacidades de diseño de misiones espaciales de la Fuerza Aérea Colombiana. *Revista CEA*(1), 73-82. Obtenido de centrodeestudiosaeronauticos.edu.co
- Rincón, S. R., Martínez, J. M., & Cárdenas, L. (2020). The FACSAT-1: a driver project to promote spin-off initiatives in Colombia . 71st International Astronautical Congress (IAC) .
- Rincón, S., Cárdenas, J. M., Virginia, H., & Pirazan Villanueva, K. N. (2022). Development of the Colombian space program. 73rd International Astronautical Congress (IAC), IAC, Paris, France. Obtenido de <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-22/B4/1/73664/>
- Rincón-Urbina, S. R., Cárdenas-García, J. M., & Pirazán-Villanueva, K. N. (Julio/Septiembre de 2022). Misión FACSAT-2 Avance del programa espacial colombiano. ACIEM. Bogotá D.C.: Electrónica. Obtenido de <https://www.educacion.aciem.com.co/Revista/Revista-ACIEM-147.pdf>
- Rincón-Urbina, S. R., Cárdenas-García, J. M., & Pirazán-Villanueva, K. N. (2023). Salto al futuro en las capacidades espaciales. *Revista Aeronáutica Fuerza Aérea Colombiana*(309), 8-11. Obtenido de <https://www.revistaaeronautica.mil.co/es/articulos/salto-al-futuro-en-las-capacidades-especiales>



- Rincón-Urbina, S. R., Cárdenas-García, J. M., Pirazán Villanueva, K. N., Acero-Niño, I. F., Hurtado-Velasco, R. H., David, & Cortés-García, E. (2023). Critical Design of the FACSAT-2 mission CubeSat for the observation and analysis of the Colombian Territory. *Revista UIS Ingenierías*, 22(3), 69-86. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v22n3-2023006>
- Robledo Asencio, J. C., Rincón Urbina, S. R., Cardenas Garcia, J. M., Mendez Gomez, J. E., & Salek Chaves, D. Z. (2023). System Engineering Approach for the Implementation Project of the Colombian Aerospace Force's (FAC) Assembly, Integration, and Testing (AIT) Laboratory. 14° WETE Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, (pp. 1-10). Brasil.
- Rockafellar, T., & Uryasev, S. (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal Banking & finance*, 1443-1471.
- Rodriguez A., C. A. (2019). *Implementación de una estrategia sistémica de los proyectos del programa espacial de la FAC*. Propuesta Postdoctoral, Centro de investigación y Desarrollo en Estudios Aeroespaciales (CITAE) de la FAC, I+D+i, Cali.
- Rodriguez A., C. A. (2021). Catálogo Nacional de Cualificaciones del sector Aeroespacial 2020. Catálogo, Clúster Aeroespacial del Pacífico - Aerospacific, I+D+i, Cali. Obtenido de www.aerospacific.com
- Rodriguez A, C. A. (2021). CIGECOM. Tecnologías de la i4.0 frente al Covid, (p. 19). México. Obtenido de www.gestioncompetitiva.otg
- Rodriguez Pirateque, G. W., Arzola de la Peña, N., & Cortes Garcia, E. D. (Enero-junio de 2020). Diseño sostenible de una estructura de nanosatélite tipo CubeSat como plataforma modular para pruebas. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 108-134. doi:<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.519>
- Rodríguez, B., & Ramón, M. (2008). Diseño del proceso de fabricación de una catamarán de fibra de vidrio en astillero. Cádiz (España): Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias. Ingeniería química.
- Rodríguez-Pirateque, G. W., Sofrony Esmeral, J., Cortés García, E. D., & Rueda, K. (2020). Diseño de misión, síntesis de factores operacionales y representaciones del segmento espacial. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(2), 143-165. doi:<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.678>

- Rodríguez-Pirateque, G. W., Sofrony Esmeral, J., Cortés García, E. D., & Rueda, K. (19 de Septiembre de 2020). Diseño de misión, síntesis de factores operacionales y representaciones del segmento espacial, caso FACSAT y EMFF. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(2), 143-165. doi:<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.678>
- Rojas López, M. D. (2007). *Evaluación de proyectos para ingenieros*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Romero Valdés, D., & Rodríguez Cortés, H. (2005). *Diseño y construcción de un nanosatélite*. Ciudad de México: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Ross, S., Westerfield, R., & Jaffe, J. (2012). *Finanzas Corporativas* (Novena ed.). México: McGraw Hill.
- Ross, S., Westerfield, R., & Jordan, B. (2010). *Fundamentos de finanzas corporativas* (Novena Edición ed.). México: Mc Graw Hill.
- Saumeth, E. (09 de Noviembre de 2020). Infoespacial.com. Recuperado el 12 de Junio de 2021, de <http://www.infoespacial.com/latam/2020/11/09/noticia-colombia-gomspace-inician-desarrollo-satelite-facsat2.html>: <http://www.infoespacial.com/>
- SECAD-FAC. (2016). *Épicos*. Fuerza Aérea Colombiana, Bogotá.
- Shiotani, B. (2018). *Project life-cycle and implementation for a class of small satellites*. Florida, Estados Unidos: University of Florida. Recuperado el 31 de Agosto de 2021, de https://s3vi.ndc.nasa.gov/ssri-kb/static/resources/SHIOTANI_B.pdf
- Smallsatnews. (15 de December de 2021). GomSpace + Colombian Air Force To Continue The FACTSAT-2 Satellite Mission. Smallsatnews, (p. 1). Obtenido de <https://smallsatnews.com/2021/12/15/gomspace-colombian-air-force-to-continue-the-factsat-2-satellite-mission/>
- Solarte Quiñones, H. A. (2007). *Normas de seguridad en Salud Ocupacional aplicado a la ergonomía*. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado el 26 de Noviembre de 2023, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/7897/T05895.pdf?sequence=1/>
- Solarte, S. (9 de Enero - Diciembre de 2014). Responsabilidad por daños en materia espacial: panorama de una temática en constante evolución. (P. U. Bogotá, Ed.) *Universitas Estudiantes*(11), 145-161. Obtenido de <https://cienciasjuridicas.javeriana.edu.co/documents/3722972/4335815/7+RESPONSABILIDAD+POR+DA%C3%91OS.pdf/fa01480a-7cc7-4d83-bdc3-64f22c4a088c>



- Superintendencia de Industria y Comercio. (2015). Boletín Tecnológico. Bogotá D.C.: Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial - CIGEPI. Recuperado el 26 de Noviembre de 2023, de <https://issuu.com/quioscosic/docs/drones>
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2017). Boletín Tecnológico Nanosatélites. Bogotá: Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial - CIGEPI. Recuperado el 23 de Julio de 2021
- Süssmann Herrán, N. (Julio - Diciembre de 2013). El Tratado de 1967: la extensión y garantía del mantenimiento de la paz y la seguridad internacional en el espacio. *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías* (10), 27. doi:<http://dx.doi.org/10.15425/redecom.10.2013.11>
- Tubio Pardavila, R. (2012). *Ingeniería de Sistemas basada en Estándares ECSS aplicada al diseño, fabricación, integración, validación y operación de pico, nano y microsatélites. Aplicación a la Constelación HUMSAT*. Vigo, España: Universidad de Vigo. doi:<https://core.ac.uk/download/pdf/54205042.pdf>
- UNCTAD. (2021). Exploring space technologies for sustainable development. United Nations Conference on trade and development (UNCTAD). Geneva: United Nations. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de https://unctad.org/system/files/official-document/dtlstict2021d1_en.pdf
- Universidad Antonio Nariño. (2020). <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/1673/3/2020Anexo.pdf>. Recuperado el 27 de Noviembre de 2023, de <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/1673/3/2020Anexo.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia & Fuerza Aérea Colombiana. (2020). *Análisis prospectivo - Asesoría para el desarrollo de una hoja de ruta y plan de CTel de la FAC*. Bogotá D.C., Colombia.
- UNOOSA- Resolución 3235 (XXIX). (1975). *Convenio sobre el Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre*. Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA). ONU. doi:https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_29_3235S.pdf
- UNOOSA, Resolución 2777 (XXVI). (1971). *Convenio sobre responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales*. Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA). ONU. doi:https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_26_2777S.pdf

- UNOOSA, Resolución 34/68. . (1979). *Acuerdo que rige las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes*. Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA). ONU. doi:https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_34_68S.pdf
- Valdez Alvarado, A. (Junio de 2011). NANOSATÉLITES. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 8-13. doi:<http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rits/n6/n6a02.pdf>
- Van Horne, J. C., & Wachowicz, J. M. (2010). *Fundamentos de Administración Financiera* (Decimotercera ed.). México: Pearson Educación.
- Vargas Vergnaud, M. (Julio-Diciembre de 2004). Una mirada económica los acuerdos de offsets en el Sector Defensa Seguridad en Colombia. (N. Planeación, Ed.) Planeación & Desarrollo, XXXV(2), pp. 389-416. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/RevistaPD/2004/pd_vXXXV_n2_2004_art.2.pdf
- Villegas, E. y. (1997). *Administración de Inversiones*. México: Mc Graw Hill.
- Volavi. (21 de Julio de 2011). Fuerza Aérea Colombiana entre el 2010 y el 2030. Obtenido de <https://volavi.co/aviacion/noticias/la-fuerza-aerea-colombiana-entre-el-2010-y-el-2030>
- Wertz, J. R., & Larson, W. J. (2007). *Space Misión Analysis and Design*. El segundo, California, Estados Unidos: Space Technology Library. Recuperado el 30 de Agosto de 2023
- Wood, D., & Stober, K. J. (2018). Small Satellites Contribute to the United Nations' Sustainable Development Goals. 32nd Annual AIAA/USU. SSC18-WKVIII-08. Conference on Small Satellites, (p. 9). UK. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/220135981.pdf>
- Wood, D., & Weigel, A. (2012). Charting the evolution of satellite programs in developing countries – The Space Technology Ladder. *Space Policy*, 28(1), 15-24. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2011.11.001>
- Zosimovych, N. (2020). 1U CubeSat Platform Design. *International Journal of Aerospace Sciences*, 8(1), 1-7. doi:10.5923/j.aerospace.20200801.01
- Zuluaga C., Ó., Aristizábal M., H. F., & Sánchez P., K. (2020). El acceso al espacio exterior como un interés nacional vital de Colombia. En E. Pastrana Buelvas, S. Reith, & F. Cabrera Ortiz, *Identidades e Intereses Nacionales de Colombia* (Primera ed., Vol. I, págs. 279-314). Bogotá DC, Colombia: Fundación Konrad Adenauer Stiftung: Escuela Superior de Guerra.



7. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación contó con el trabajo y la colaboración del Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología Aeroespacial (CITAE) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), específicamente en el marco del proyecto «Misión Espacial FACSAT-2: Diseño y Análisis». Se expresa gratitud al personal militar y civil del CITAE, por facilitar entrevistas, proporcionar herramientas de recolección de datos, información y compartir su valiosa experiencia.

Se extiende el agradecimiento a: la Escuela Militar de Aviación «Marco Fidel Suárez» (EMAVI), por su apoyo en la publicación de este libro; a la asociación Clúster Aeroespacial del Pacífico (Aerospacific), por su destacada labor en facilitar la interrelación en la quintupla hélice, promoviendo así la colaboración efectiva entre diversos actores del sector; así como a las empresas GomSpace, Exolaunch, RBC Signals y Structural Synergy SAS, junto con el grupo GISS de esta última, por sus importantes contribuciones al desarrollo del estudio y la preparación del presente documento.

Estas colaboraciones reflejan el espíritu de cooperación y el compromiso con el avance tecnológico y científico en el ámbito aeroespacial, beneficiando tanto a Colombia como a la comunidad internacional.

8. SOBRE LOS AUTORES

Teniente Coronel Sonia Ruth Rincón Urbina



Oficial Fuerza Aérea Colombiana del curso No. 21, Ingeniera Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, Especialista en Logística Aeronáutica de la Escuela de Postgrados de la FAC. MPhil en Manufactura Aeroespacial de la Universidad de Cranfield del Reino Unido. Líder del Programa Espacial en CTel de la FAC. Con experticia en investigación en ingeniería, mantenimiento aeronáutico MRO, Ensayos No Destructivos. desarrollo de misiones satelitales e implementación de laboratorios AIT para sistemas espaciales. “FACSAT QUEEN”.

Dr. Cesar Augusto Rodriguez Adaime



Con 24 años de experiencia, Doctor en Ingeniería y líder en alta gerencia. Cursos internacionales, postdoctorados y estancias como Research Fellow. Docente Universitario en Instituciones de Educación Superior -IES militares y civiles. Gerencia de proyectos y de compañías desde lo táctico, estratégico y transformacional. Mentor Maverick.

Docente, investigador, CEO y asesor corporativo, además de presidente del Clúster Aeroespacial del Pacífico (Aerospacific), una red empresarial que reúne compañías e instituciones vinculadas a la cadena productiva de los sectores industrial, aeroespacial y de defensa, así como a la academia, asociaciones y entidades públicas. Su liderazgo en equipos multidisciplinarios y la gestión de proyectos de I+D+i se enfocan en fortalecer el relacionamiento interinstitucional. Como asesor sistémico del programa espacial colombiano, impulsa múltiples proyectos que promueven el desarrollo y la transferencia de conocimiento técnico especializado (Know-How) en el país.



MSc. Edwin Jairt Bastidas Bonilla

Profesional con Maestría en Ingeniería Industrial, énfasis en Logística, 27 años de experiencia a nivel laboral y 24 años como docente en instituciones de educación superior en Santiago de Cali. Coordinador de Administración de Empresas en la Escuela Nacional del Deporte. Experto en modelos de autoevaluación de programas e institucional. Asesor de proyectos I+D+i del programa Espacial Colombiano FACSAT. Consultor empresarial y Auditor de Calidad ISO 9001:2015.



Diagramación y diseño:

EF Business Outsourcing SAS

Correo: ctpbusiness1089@gmail.com

Cel: +57 324 807 6701

Este libro fue diagramado utilizando fuentes tipográficas
Lora en sus respectivas variaciones a 11.5 puntos para el contenido y para títulos
Poppins a 28 pts.

Impreso en el mes de diciembre de 2023.

50 ejemplares

Ef Business Outsourcing SAS

Carrera 10 D 23 26 Sur

Bogotá, Cundinamarca

Colombia

Cel: (+57) 324 807 6701

El crecimiento exponencial en el desarrollo satelital, iniciado en la última década, se impulsa por avances tecnológicos y una cooperación internacional sin precedentes. Este impulso acelerado por las inversiones gubernamentales y privadas, fortalecen aplicaciones clave como las comunicaciones, la predicción climática, la gestión ambiental y la navegación. Además, sectores emergentes como la minería y el turismo espacial han abierto nuevas oportunidades en la industria.

En este contexto, Colombia comenzó a fortalecer sus capacidades estratégicas a través del programa espacial liderado por la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC). El programa FACSAT consolida el diseño y lanzamiento de satélites nacionales, promoviendo el avance científico y tecnológico del país.

El acercamiento de las tecnologías y la transferencia de conocimiento en el **desarrollo del programa FACSAT** juega un papel fundamental en la construcción de una base sólida para la autonomía tecnológica de Colombia. Este informe detalla la viabilidad económica, técnica y operativa del programa, destacando su impacto en la soberanía tecnológica, el desarrollo sostenible y el crecimiento de la industria aeroespacial nacional. La colaboración entre el gobierno, las empresas privadas y las universidades impulsa la innovación y posiciona a Colombia como un actor clave en el ámbito espacial.

ISBN: 978-628-95947-8-2



FUERZA AEROSPACIAL
COLOMBIANA



ASÍ SE VA A LAS
ESTRELLAS



EMAVI
SELLO EDITORIAL