



**Título:**

**Apoyo al Diseño de la Misión FACSAT-3, CITAE - Fuerza Aeroespacial Colombiana**

David Andrés Diaz Álvarez

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Aeroespacial

Asesores

Juan Francisco Puerta Ibarra

Maestro en Astronáutica y sistemas espaciales

Mayor Juan Manuel Cárdenas García

Investigador del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales de la Fuerza  
Aeroespacial Colombiana

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Aeroespacial

El Carmen de Viboral

2023

---

**Cita** D. A. Diaz-Álvarez [1]

---

**Referencia** [1] D. A. Diaz Alvarez, “Apoyo al Diseño de la Misión FACSAT-3, CITAE - Fuerza Aeroespacial Colombiana”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Aeroespacial, Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia, 2023.

Estilo IEEE  
(2020)



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Julio Cesar Saldarriaga

**Jefe departamento:** Pedro León Simanca

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis y todo mi esfuerzo de estos años a mi hermosa familia Diaz Alvarez que nunca ha dejado de apoyarme en mis más locos sueños y decisiones. La dedico al David que soñó con ser un gran ingeniero y el día de hoy está cumpliendo con ese sueño.

## **Agradecimientos**

Me gustaría empezar agradeciendo a las personas más importantes en mi vida, mi familia. A mi madre Maria Victoria Alvarez Gil y a mi padre Javier Antonio Diaz Garcia que estuvieron todos estos años presentes para apoyarme en este largo pero muy fructífero camino. Agradecer a mis tíos Laura y Julian por estar para mí cuando los necesitaba y sin dudarlo a mis hermanos Laura y Sebastian que nunca dejaron de ser esas personas a las que les podía contar mi día a día. Pero sin dudarlo agradecer a la señora abuela Angela, mi fuente de motivación durante todos estos años. Quisiera agradecer a todos mis amigos, los agrestes y el combo de pinar por nunca dudar de mí, por soportarme todos estos años y nunca decirme que no hiciera algo, siempre apoyarme en mis decisiones más locas. También a mi hermosa y apreciada amiga Tatiana Silva que me acompañó en mis momentos más duros. No me puedo olvidar de mis amigos de la universidad, de Juanda, Vero y Fernando por estar en mi día a día y a todos mis compañeros que sin el apoyo de ellos y la confianza que pusieron en mí nunca habría podido ser quien soy (en especial a la tripulación EAR). Finalmente agradecerme a mí mismo, por atreverme a soñar, por atreverme a creer en mí y por querer ser cada día una persona mejor. Me agradezco y me dedico este título como símbolo de que todo lo que he soñado se ha cumplido. Me agradezco por nunca dejar de soñar en grande, por siempre esforzarme, por recuperar el aliento cuando me costó ser parte de esta carrera, por permitirme mejorar y por entender que no estamos solos en este mundo, que estamos en una sociedad y que nos debemos apoyar unos con otros para lograr grandes cosas. Agradezco al David que de pequeño soñó con volar a las nubes y ahora sueña con llegar a las estrellas.

TABLA DE CONTENIDO

|                    |    |
|--------------------|----|
| RESUMEN            | 6  |
| ABSTRACT           | 7  |
| I. INTRODUCCIÓN    | 7  |
| II. OBJETIVO       | 10 |
| III. MARCO TEÓRICO | 10 |
| IV. METODOLOGÍA    | 13 |
| V. RESULTADOS      | 15 |
| VI. ANÁLISIS       | 16 |
| VII. CONCLUSIONES  | 17 |
| ANEXOS             | 18 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. LANZAMIENTO DE NANOSATÉLITES POR AÑO [1] .....         | 8  |
| FIGURA 2. SAT-CHIRIBIQUETE .....                                 | 9  |
| FIGURA 3. ELEMENTOS Y SEGMENTOS DE UNA MISIÓN ESPACIAL.[2] ..... | 11 |
| FIGURA 4 DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE MISIÓN.....         | 14 |

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

|              |   |
|--------------|---|
| <b>CITAE</b> | Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales |
| <b>FAC</b>   | Fuerza Aeroespacial Colombiana                        |
| <b>ESA</b>   | European Space Agency                                 |
| <b>NASA</b>  | National Aeronautics and Space Administration         |
| <b>SMAD</b>  | Space Mission Analysis and Design                     |

## RESUMEN

En la actualidad, la Fuerza Aérea Colombiana cuenta con el plan estratégico de CTel 2042, el cual tiene como objetivo desarrollar, lanzar y operar varias plataformas satelitales. El Centro de Investigación de Tecnologías Aeroespaciales es el encargado de llevar a cabo este programa. Hasta mayo de 2023, el programa ha lanzado el Facsat 1 y el Facsat 2, con miras al desarrollo de la constelación Facsat 3. Para la etapa conceptual, es necesario establecer el diseño inicial de la misión. Es aquí donde surge la necesidad de un practicante desde el CITAE, con formación académica en análisis y diseño de misiones espaciales, para apoyar en las labores de Diseño de Misión del Facsat 3. Este diseño se realizará siguiendo los estándares de la European Space Agency (ESA). Con este objetivo en mente, la práctica se centró en establecer los actores interesados en el proyecto, las características de la carga útil del satélite y su función en órbita. Además, se brindó apoyo en labores de divulgación del conocimiento, como la creación de artículos científicos y difusión de resultados.

***Palabras clave* — FACSAT-3, Requerimientos, constelación satelital, nanosatélite, Stakeholders**

## ABSTRACT

Currently, the Colombian Air Force has the strategic plan CTel 2042, which aims to develop, launch, and operate various satellite platforms. The Aerospace Technologies Research Center is responsible for carrying out this program. As of May 2023, the program has launched Facsat 1 and Facsat 2, with the goal of developing the Facsat 3 constellation. During the conceptual stage, it is necessary to establish the initial mission design. This is where the need for an intern from CITAE, with academic training in space mission analysis and design, arises to support the Mission Design of Facsat 3. This design will be carried out following the standards of the European Space Agency (ESA). With this objective in mind, the internship focused on identified the stakeholders in the project, the characteristics of the satellite payload, and its function in orbit. Additionally, provided support for dissemination activities, such as the creation of scientific articles and results diffusion.

**Keywords** —FACSAT-3, Requirements, satellite constellation, nanosatellite, Stakeholders

### I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el mundo se encuentra en una nueva era espacial en la que la miniaturización de la electrónica ha facilitado el acceso al espacio para países en desarrollo mediante el uso de nanosatélites o cubesats. Del mismo modo, las universidades han lanzado sus propios satélites con recursos limitados. En este contexto, el desarrollo de este tipo de satélites se convierte en una opción para impulsar el desarrollo del campo espacial colombiano.[1]

Los nanosatélites o cubesats son satélites de tamaño reducido. Generalmente, se les denomina según el número de unidades que poseen, es decir, una unidad equivale a un cubo de 10x10x10 cm. Esta medida se utiliza como base para determinar el tamaño de los satélites. La

tendencia global es utilizar satélites de 3 a 6 unidades para la observación terrestre en órbitas bajas de 400 a 500 km.

El desarrollo de este tipo de satélites ha generado un aumento en su lanzamiento, también gracias a nuevas empresas privadas como SpaceX y RocketLab, que diseñan cohetes de bajo costo, lo que hace que el lanzamiento de objetos al espacio sea más accesible. Así, en el gráfico siguiente se puede observar el incremento en el número de nanosatélites lanzados y su tendencia para los próximos años.

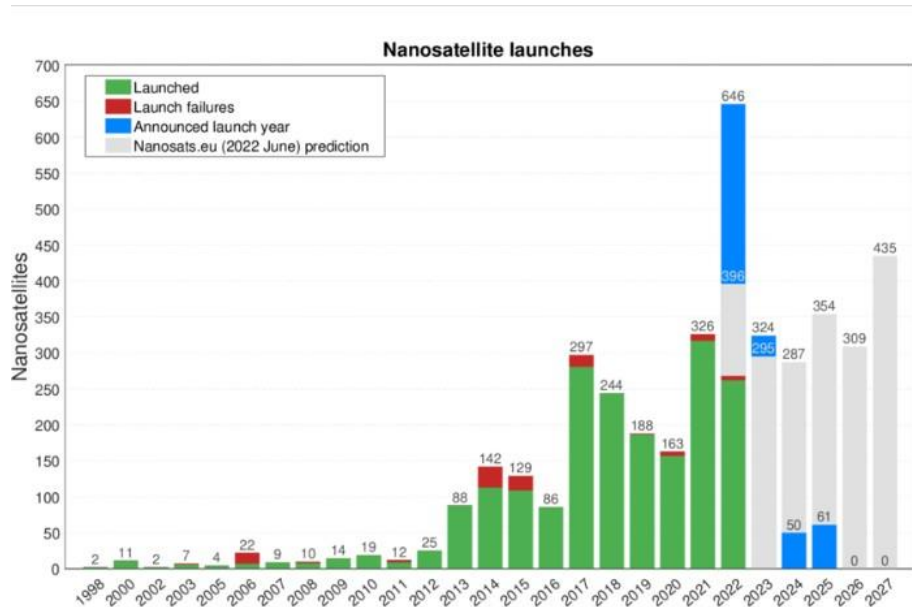


Figura 1. Lanzamiento de nanosatélites por año [2]

En esta era en la que el lanzamiento de nanosatélites está en auge, se ha vuelto necesario que Colombia también participe en la nueva era espacial. En línea con esto, la Fuerza Aérea Colombiana, en su plan 2042, tiene como objetivo aumentar el número de plataformas espaciales propias para el país. Hasta la fecha, se han lanzado dos nanosatélites: el FACSAT-1 y el FACSAT-2 (figura 2), los cuales han mejorado las capacidades del país en el uso de tecnologías espaciales.





Figura 2. SAT-Chiribiquete

El Centro de Investigación en Tecnología Aeroespacial (CITAE) de la FAC es el responsable del diseño, desarrollo y operación de estos nanosatélites. Acorde al plan 2042 y el diseño de misión, se contempla que el FACSAT-3 sea una constelación de tres satélites de dimensiones a ser definidas de acuerdo con las necesidades de los stakeholders y las cargas útiles. Lo anterior con el objetivo de seguir mejorando las capacidades, aumentar el tiempo de observación del territorio e implementar aplicaciones en colaboración con empresas y la academia. Esta iniciativa se enfoca en el diseño de la misión de esta constelación, para lo cual es necesario establecer las necesidades del país y generar las alianzas correspondientes que permitan el mejor uso de estas plataformas espaciales.

## II. OBJETIVO

A. Objetivo general: Apoyar en las labores del área de ingeniería e integración de sistemas para el diseño de misión de la constelación FACSAT-3.

B. Objetivos específicos

- Establecer las necesidades y requerimientos de los actores interesados en el FACSAT-3.
- Apoyo en la divulgación social del conocimiento y la creación de un artículo tipo C.
- Apoyo en la formulación de los documentos específicos del diseño de misión.

## III. MARCO TEÓRICO

El diseño de misiones espaciales es esencial para el desarrollo de cualquier proyecto que involucre la implementación de tecnologías espaciales. En el caso de las plataformas espaciales, como los satélites, es importante definir su propósito, ciclo de vida útil y todos los aspectos técnicos de la misión. A nivel mundial se trabaja con base en el libro "Space Mission Analysis and Design" de Larson. Este es ampliamente utilizado debido a que proporciona una guía muy completa para el diseño de misiones espaciales.

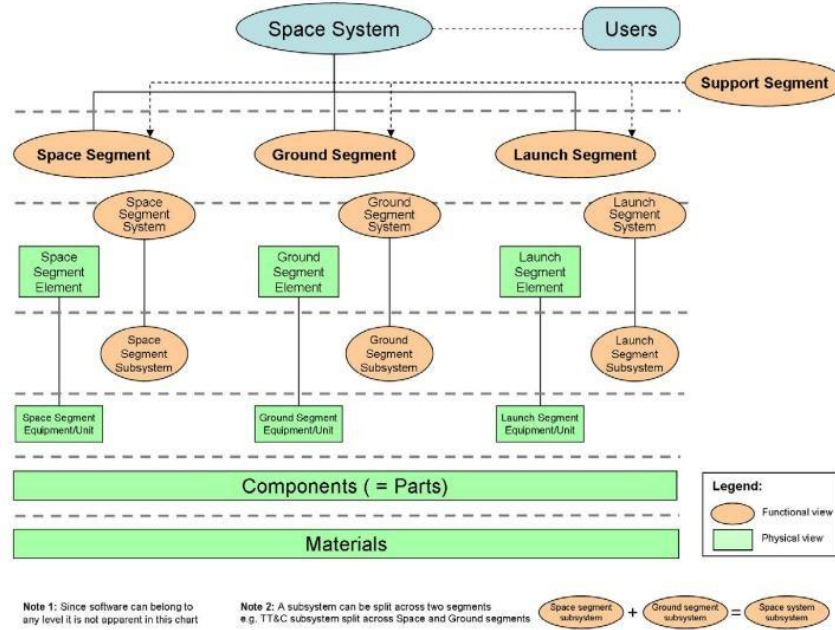


Figura 3. Elementos y segmentos de una misión espacial.[3]

De manera similar, la Agencia Espacial Europea (ESA) tiene estándares recomendados para el desarrollo de proyectos espaciales. Estos estándares, conocidos como "European Cooperation for Space Standardization", son las guías implementadas en Europa para el diseño de misiones espaciales. El estándar define los diferentes componentes de cualquier proyecto espacial, como se puede observar en la figura que establece el árbol de composición. El diseño de misiones espaciales se encarga de definir todos los elementos presentados en la gráfica. Para esto, se definen los conceptos a continuación [3]:

- **Sistema:** conjunto de funciones interrelacionadas o interactuantes constituidas para lograr un objetivo específico.
- **Segmento:** conjunto de elementos o combinación de sistemas que cumplen un subconjunto importante y autocontenido de los objetivos de la misión espacial. Ejemplos son el segmento espacial, segmento terrestre, segmento de lanzamiento y segmento de soporte.
- **Elemento:** combinación de equipos integrados, componentes y partes. Un elemento cumple un subconjunto importante y autocontenido de los objetivos de un segmento.

- **Subsistema:** parte de un sistema que cumple una o varias de sus funciones.
- **Equipo:** conjunto integrado de partes y componentes. Un equipo cumple una función específica y es autocontenido, clasificado como tal para su fabricación, adquisición, dibujos, especificaciones, almacenamiento, emisión, mantenimiento o uso.
- **Componente:** conjunto de materiales ensamblados de acuerdo con procesos definidos y controlados, que no se pueden desmontar sin destruir su capacidad y que realiza una función simple que se puede evaluar según los requisitos de rendimiento esperados.
- **Material:** sustancia cruda, semielaborada o terminada (gaseosa, líquida, sólida) con características específicas, a partir de la cual se realiza el procesamiento para convertirla en un componente o parte.
- **Sistema espacial:** sistema que contiene al menos un segmento espacial, terrestre o de lanzamiento. Por lo general, un sistema espacial está compuesto por los tres segmentos y cuenta con el respaldo de un segmento de soporte.
- **Segmento espacial:** parte de un sistema espacial ubicada en el espacio para cumplir los objetivos de la misión espacial.
- **Elemento de segmento espacial:** elemento dentro de un segmento espacial. Un elemento de segmento espacial puede estar compuesto por varios elementos de segmento espacial, por ejemplo, una nave espacial está compuesta por instrumentos, un módulo de carga útil y un módulo de servicio.
- **Segmento terrestre:** parte de un sistema espacial, ubicada en tierra, que monitorea y controla uno o varios elementos del segmento espacial.
- **Segmento de lanzamiento:** parte de un sistema espacial que es usado para transportar elementos del segmento espacial al espacio.
- **Segmento de soporte:** infraestructura y servicios genéricos utilizados para respaldar el desarrollo y la operación de los elementos del sistema espacial.

#### IV. METODOLOGÍA

La metodología empleada fue basada en el ECSS-M-ST-10C Rev. 1 (Space project management) y en SMAD.[4][5] El primero es el estándar europeo para la gestión de proyectos espaciales, que proporciona pautas sobre cómo establecer correctamente una organización que garantice la conexión entre el ejecutor del proyecto y el cliente en todos sus niveles. Este estándar ofrece una guía para completar una serie de elementos que permitirán la correcta ejecución del proyecto. Por ejemplo, para definir las necesidades de los interesados, primero se llevó a cabo una investigación de los actores involucrados en el país en el uso o desarrollo de tecnologías espaciales. Una vez identificados, se estableció contacto con cada actor para realizar encuestas y recopilar información que aclaró sus necesidades. Además, se utilizaron recursos bibliográficos como revistas, información estadística y bases de datos disponibles en Internet. La principal labor consistió en brindar apoyo al equipo de Ingeniería de Sistemas del CITAE mediante la documentación, el establecimiento de requisitos y la producción de artículos divulgativos para la difusión del conocimiento, como publicaciones en revistas científicas.

En la siguiente gráfica se puede evidenciar la aproximación implementada para establecer los requerimientos operacionales y funcionales de la constelación FACSAT-3. En el proceso de diseño de misión para establecer los objetivos y requerimientos se alimentan del análisis funcional del sistema y del concepto de operaciones. Estos deben estar también alimentados por un buen análisis de las necesidades de los actores interesados o Stakeholders.

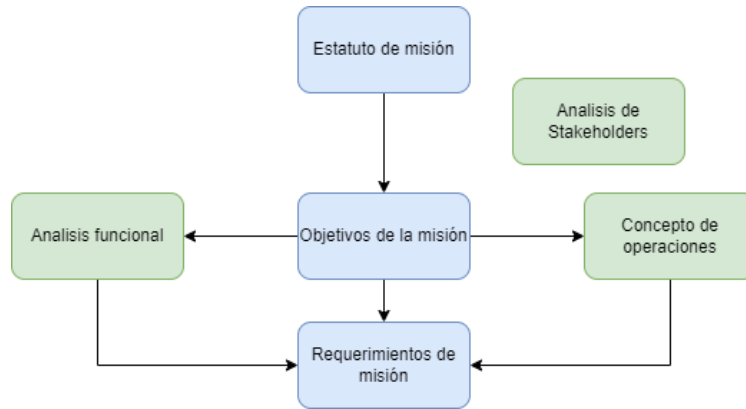


Figura 4: Definición de los requerimientos de misión. Adaptado de [6]

Durante el desarrollo del proyecto más de 100 actores interesados fueron detectados a nivel nacional. Estos se categorizaron por el tipo de aplicación que le pueden dar a las tecnologías espaciales. Una vez realizado el análisis general del país se prosiguió con una aproximación específica hacía los actores individuales de cada aplicación. Una vez identificados todos los actores se realizó una encuesta con los mismos que permitió establecer las necesidades mas importantes de cada una. Por medio de la encuesta se identificó cuales actores serían los aliados principales y se contactó a cada uno para establecer mesas técnicas donde se entabló una conversación alrededor de como la misión FACSAT-3 podría solventar las necesidades de cada uno. Estas necesidades se convirtieron en requerimientos para la misión.

Para las simulaciones en el apoyo de diseño de misión se utilizó el software de General Mission Analysis Tool de código abierto de la NASA. Con este software se realizó un análisis de tiempos de accesos de la constelación con respecto al centro de operaciones de la FAC. Este análisis de tiempos de acceso permite establecer el presupuesto de telecomunicaciones de la constelación satelital a diferentes inclinaciones orbitales. Se analizaron los tiempos de acceso a una altura de 550 km con inclinaciones de 97,45 y 16 grados. También se analizó el decaimiento orbital de la constelación. Para esto se simularon dos escenarios uno de 500 km y otro de 550 km. Las dos configuraciones de la constelación fueron analizadas, de 6 y 16 unidades, para entender cual sería la vida orbital de cada una y en que momento entraría en completa operación la constelación.

## V. RESULTADOS

Se colaboró satisfactoriamente en las labores del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Dentro de los entregables se desarrollo el artículo: “Definición de los requerimientos generales de la misión satelital FACSAT-3 mediante la identificación de necesidades de los actores interesados” que será presentado a la Revista UIS de Ingeniería de categoría B. Este artículo vincula a la Universidad de Antioquia y la Fuerza Aeroespacial de Colombia en una misma producción científica cumpliendo con uno de los propósitos de la práctica académica.

Se desarrolló el análisis de los actores interesados en el proyecto FACSAT-3 donde se encontraron mas de 100 actores con intereses en el uso de tecnologías aeroespaciales. Con muchos de estos actores se entabló una conversación mediante mesas técnicas que permitió establecer las necesidades de los mismos entornos al proyecto. Una vez se establecieron las necesidades se priorizó aquellos actores o entidades que pudieran aportar de manera significativa al proyecto. Para esto se escogió a las Empresas Públicas de Medellín y Ecopetrol como los principales aliados. Con base en estas empresas se establecieron los requerimientos operaciones y funcionales de la misión FACSAT-3. Todo el proceso anterior se encuentra detallado en el artículo previamente mencionado que será publicado en los próximos meses.

Para el apoyo de la elaboración de documentos se entregaron los siguientes:

- **Análisis preliminar de actores interesados FACSAT-3** Este documento contiene el análisis de mas de 100 posibles actores de Colombia interesados en el FACSAT-3. En este documento se realiza un primer análisis de las necesidades generales de todos los actores.
- **Request for Information – FACSAT-3 Launch Service** Este documento contiene la solicitud de información que se envió a las empresas intermediarias que se encargan de organizar los lanzamientos de satélites en conjunto con las empresas lanzadoras. Este documento tiene el propósito de solicitar información acerca de las oportunidades de lanzamiento en los años 2027,2028 y 2029.
- **Estatuto de misión FACSAT-3** Este documento contiene el análisis de las encuestas realizadas a los diferentes actores. Esta encuesta fue enviada a más de 50 actores y fue respondida por alrededor de 25. Con base en las respuestas se

determinaron las necesidades de los actores interesados esenciales para establecer los requerimientos operacionales y funcionales de la misión FACSAT-3.

- **Simulación de accesos FACSAT-3** Este documento contiene la simulación realizada para establecer los tiempos de accesos de la constelación FACSAT-3 con diferentes condiciones de inclinación de órbita. Este análisis permite establecer el presupuesto de telecomunicaciones y analizar cómo se podría llegar a comportar la constelación en su estado de funcionamiento completo.
- **Estimación de vida orbital constelación FACSAT-3:** En este documento se realiza el análisis de estimación de vida orbital de la constelación para así poder determinar el tiempo que se demora en realizar la reentrada. Este tiempo sirve para estimar también el tiempo de vida útil de la constelación.

## VI. ANÁLISIS

El aporte generado durante el semestre de industria a la misión FACSAT-3 de la Fuerza Aeroespacial Colombiana fue principalmente en el análisis y diseño de misión con base en los actores interesados. Establecer las necesidades y requerimientos por parte de los aliados potenciales permite establecer y sintetizar los objetivos de la misión. Esta etapa conceptual es importante en el desarrollo de una misión satelital debido a que se genera la base sobre la cual trabajar. Para resolver los requerimientos de una misión satelital se establecen posteriormente los elementos que va a contener el satélite, es decir, los subsistemas. Es así como, por ejemplo, si un actor necesita que se realice un análisis de gases de efecto invernadero entonces dentro de los sensores del satélite se debe tener en cuenta incluir un espectrómetro que tenga la capacidad de realizar este análisis.

También, establecer los potenciales aliados permite plantear la forma de integrar esfuerzos, buscar recursos y la continuidad del proyecto. De igual forma permite divulgar el proyecto a través del país, es así como, las corporaciones autónomas regionales de Colombia se enteraron de que un proyecto satelital está en curso y puede beneficiar sus operaciones en torno al monitoreo y conservación de la fauna y flora del país. Democratizar las tecnologías espaciales es un paso para que su aplicabilidad aumente en los diferentes campos ayudando con el desarrollo social y económico del país.



## VII. CONCLUSIONES

La práctica se desarrolló de manera satisfactoria lo que refuerza la relación entre la Fuerza Aeroespacial Colombiana y la Universidad de Antioquia. Esta práctica permite que otros estudiantes puedan aplicar al CITAE y por lo tanto se continúe con el plan de prácticas académicas. De igual forma, se establecieron diferentes líneas de trabajo en conjunto con proyectos con base en las necesidades de la FAC.

El semestre de industria sin necesidad de ser un semestre investigativo dejó como resultado un artículo de investigación. Este permite que se siga desarrollando el ámbito científico dentro de la universidad y aumenta la visibilidad de esta. Es así, como con la asesoría del grupo de investigación ASTRA se sigue promoviendo el desarrollo investigativo de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Aeroespacial.

Finalmente, la práctica fue un espacio en el que se pudo aportar a un proyecto de magnitud nacional siendo único en su clase en el país. Ser parte de este proyecto muestra las capacidades que se obtienen durante la carrera y permite visualizar en cuales áreas se debe reforzar. También, se aprenden temas prácticos que mejoran el desarrollo profesional de los estudiantes con la aplicación de los conocimientos a un caso de la vida real.

## REFERENCIAS

- [1] S. Rincon, "MISIÓN FACSAT-2: Avance del programa espacial colombiano", ACIEM, vol. 147, p. 36–40, 2022.
- [2] E. Kulu, "Nanosatellite Launch Forecasts - Track Record and Latest Prediction," Small Satellite Conference, Aug. 2022.
- [3] E. ESTEC, "ECSS Glossary Terms (ECSS-S-ST-00-01C1)," European Cooperation for Space Standardization, Oct. 2012.
- [4] E. ESTEC, "ECSS-M-ST-10C Rev. 1 ," European Cooperation for Space Standardization, Mar. 2009.

[5] W. Larson and J. Wertz, *Space Mission Analysis and Design*, 3rd ed, vol. 1. El segundo, California: Space Technology Library, 2005.

[6] M. A. Viscio, N. Viola, R. Fusaro, and V. Basso, “Methodology for requirements definition of complex space missions and systems,” *Acta Astronautica*, vol. 114, pp. 79–92, 2015. doi:10.1016/j.actaastro.2015.04.018

ANEXOS