

No. 174 Enero - Marzo

DOI: 10.29236/sistemas

ISSN 0120-5919

SISTEMAS

Ciencias satelitales



Calle 93 No. 13 - 32 of. 102
Bogotá, D.C.
www.acis.org.co



JORNADA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD INFORMATICA



25 Años

Evento presencial

Relatando las certezas para
anticipar y adaptar el futuro

Julio 30 y 31 de 2025

Universidad Externado de Colombia

En esta edición

Editorial

Editorial

DOI: 10.29236/sistemas.n174a1

4

Columnista Invitado

Innovación aeroespacial y la sostenibilidad

DOI: 10.29236/sistemas.n174a2

8

Entrevista

Experimentada voz en ciencias espaciales

DOI: 10.29236/sistemas.n174a3

14

Investigación

Algoritmos para el análisis de imágenes satelitales

Con el programa Copernicus de la Unión Europea

DOI: 10.29236/sistemas.n174a4

24

Cara y Sello

Futuro del talento en Colombia

La Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas –ACIS– convocó a varios profesionales para mostrar el talento colombiano y respaldar los avances sobre ciencias satelitales en el país.

DOI: 10.29236/sistemas.n174a5

D

44

Uno

Ciberseguridad en sistemas espaciales

Conceptos, tensiones y retos

DOI: 10.29236/sistemas.n174a6

59

Dos

Introducción a las limitaciones actuales en la predicción de propagación de órbitas de satélite

DOI: 10.29236/sistemas.n174a7

70

Tres

Exploración espacial y desarrollo - Oportunidades para Latinoamérica

Oportunidades para Latinoamérica

DOI: 10.29236/sistemas.n174a8

78

Cuatro

Satélites colombianos en el espacio

Desde 1957, cuando se lanzó el primer satélite artificial, la humanidad ha avanzado significativamente en la exploración espacial

DOI: 10.29236/sistemas.n174a9

85

Publicación de la Asociación Colombiana de
Ingenieros de Sistemas (ACIS)
Resolución No. 003983 del
Ministerio de Gobierno
Tarifa Postal Reducida Servicios Postales
Nacional S.A. No. 2015-186 4-72
ISSN 0120-5919
Apartado Aéreo No. 94334
Bogotá D.C., Colombia

Dirección General

Jeimy J. Cano M.

Consejo de Redacción

Francisco Rueda F.
Gabriela Sánchez A.
Manuel Dávila S.
Andrés Ricardo Almanza J.
Emir Hernando Pernet C.
Fabio Augusto González O.
Jorge Eliécer Camargo M.
María Mercedes Corral S.

Editor Técnico

Manuel Dávila S.

Editora

Sara Gallardo M.

Junta Directiva ACIS

2024-2026

Presidente

Ricardo Munévar Molano

Vicepresidente

Carlos Andrés Cuesta Yépes

Secretario

Camilo Rodríguez Acosta

Tesorero

Edgar José Ruíz Dorantes

Vocales

Iván Mauricio Rey Salazar
Carlos Enrique Niño Barragán

Directora Ejecutiva

Beatriz E. Caicedo R.

Diseño y diagramación

Bruce Garavito

Los artículos que aparecen en esta edición no reflejan necesariamente el pensamiento de la Asociación. Se publican bajo la responsabilidad de los autores.

Enero - Marzo 2025

Calle 93 No.13 - 32 Of. 102
Teléfonos 616 1407 - 616 1409
A.A. 94334
Bogotá D.C.
www.acis.org.co

NASCO

NACIONAL DE COMPUTADORES S.A.

APOYA ESTA PUBLICACIÓN

TEL: 6 06 06 06- CR 15 No 72-73



Confía en 4-72,
el servicio de envíos
de Colombia

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional

.....
www.4-72.com.co

Calendario de eventos



2025

FEB

3 - 13

**CURSO VIRTUAL:
ARQUITECTURA DE
SOFTWARE**

4:00 PM - 7:00 PM

SEP

**JORNADA DE
GESTIÓN DE
PRODUCTOS Y
PROYECTOS TI**

MAR

12 - 17

**II PROGRAMADORES
DE
AMÉRICA 2025**

Salvador bahía, Brasil

SEP

GEODATOS

MAR

27

**ASAMBLEA
ACIS**

OCT

14 - 18

REDUC@TE

JUN

11 - 14

ENCUENTRO REDIS
Rionegro, Antioquia

OCT

**MARATÓN
NACIONAL DE
PROGRAMACIÓN
2025**

JULIO

30 Y 31

**JORNADA
INTERNACIONAL DE
SEGURIDAD
INFORMÁTICA**

NOV

**MARATÓN
REGIONAL
LATINOAMERICANA
DE
PROGRAMACIÓN
2025**

AGO

**ACISTIC
2025**

PROX

**SIMPOSIO DE
GESTIÓN DE DATOS
2025**

Escuela de Ingenieros
Julio Garavito

Editorial

DOI: 10.29236/sistemas.n174a1

Manuel Dávila Sguerra - manueldavilasguerra@gmail.com

Una responsabilidad de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas ACIS ha sido la de informar los avances de las tecnologías desde hace más de 49 años a través de las publicaciones de su revista SISTEMAS.

Hasta el momento se han publicado 173 ediciones de la revista y continúa este esfuerzo para que nuestro gremio y muchas otras personas puedan ir conociendo los avances que no dejarán de sorprender permanentemente. En esta ocasión hemos convocado a una comunidad tecnológica que está trabajando en un tema a veces desconocido en el país como son las ciencias Satelitales.

Colombia tiene una deuda con el tema de las ciencias satelitales

aplicadas e inclusive hay políticos que consideran que este es solo de los países desarrollados, mientras que algunos vecinos como es el caso de Argentina han avanzado enormemente conscientes de la importancia de la vigilancia de los territorios del país para controlar sus transformaciones.

Mientras tanto algunos sectores colombianos, tanto académicos como estatales, vienen trabajando para sacar adelante proyectos de los cuales se tiene poco conocimiento de su existencia lo que está conformando una comunidad tecnológica en este tema que vale la pena hacerla visible.

Por eso la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas ACIS ha querido dedicar esta edición de su

revista “Sistemas” congregando a los actores principales de estas iniciativas como muestra de la existencia de talento colombiano en un área altamente tecnológica y de esa manera dar un espaldarazo a los posibles avances que vienen en el futuro para beneficio del país.

Para lograr esta edición de la revista hemos invitado a los siguientes participantes:

Editor técnico:

Manuel Dávila Sguerra, Ingeniero de sistemas de la Universidad de los Andes, con Maestría Cum Laude en Filosofía de la Universidad Javeriana, fundador de la Red de programas de Ingeniería de sistemas – Redis Colombia, Miembro honorario de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas y Asesor independiente en algoritmos para el análisis de imágenes de los satélites del programa Copernicus de la Unión Europea, Publicaciones: 180 columnas en revistas especializadas, 4 libros sobre tecnología y sociedad, autor del libro sobre algoritmos para la imágenes satelitales del programa Copernicus de la Unión Europea

Columnista invitado:

Se ha designado al ingeniero Jorge Espíndola Diaz, diseñador de satélites tipo Cubesat de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia de Tunja UPTC y especialista en telemática, con Maestría

en ciencias de la información y las comunicaciones de la Universidad Distrital. Es también doctor en Ciencias de Ingeniería y Tecnología Espacial del INPE – Brasil y profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, así como consultor de la firma Colombo-israelí Consultech IL SAS

El ingeniero Jorge Espíndola insiste en las ideas innovadoras que, como esta de la Ciencia aeroespacial, están buscando soluciones para reducir el impacto ambiental viendo estas realizaciones como soluciones a este flagelo. Enfatiza el hecho de que en Colombia si se está trabajando en el desarrollo sostenibles de la industria aeroespacial, en los cual él es uno de esos pioneros en el diseño de pequeños satélites.

Entrevista:

Se ha realizado una entrevista al coronel Raúl Gutiérrez, CEO y presidente de la Asociación Espacial NSS Colombia. Asesor en Asuntos Espaciales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Coordinador Comité Técnico de Asuntos Espaciales

En cuanto al tradicional conversatorio que denominamos “Cara y Sello” han participado los siguientes profesionales:

Alberto Menghini (Copérnicus), “jefe de Cooperación en Colombia

de la Unión Europea en Colombia, una posición en la que supervisa y dirige los programas de cooperación y asistencia de la Unión Europea en el país. Con una vasta experiencia en cooperación internacional y desarrollo, Menghini ha trabajado para fortalecer las relaciones entre la Unión Europea y Colombia, promoviendo proyectos que apoyan el desarrollo sostenible, la paz y la estabilidad”.

Teniente Jeimmy Nataly Buitrago, Administradora Aeronáutica. Magíster en Logística Aeronáutica y en Evaluación y Aseguramiento de la Calidad Educativa. Estudiante de Doctorado en Ciencia y Tecnología Aeroespacial. Oficial de la Fuerza Aérea Colombiana. Experiencia en proyectos de investigación orientados al sector aeronáutico y aeroespacial, desarrollo de la industria aeroespacial, optimización de la cadena de suministro y programas educativos. Competencias en: innovación, trabajo en equipo, resiliencia y liderazgo. Pionera en el diseño de satélites.

Giovanna Ramírez, Ingeniera electrónica con maestría en desarrollo y Gerencia integral de proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y Ex presidente de Aerospace & Electronic System Society (AEES-IEEE) Colombia. Ella es experta en desarrollo de software, satélites, innovación y patentes y ha trazado lineamiento de proyectos en aviación, robótica, automatización y

programación. Su formación complementaria la hizo en Polonia en un entrenamiento análogo de astronautas. Cuenta con una certificación en Rusia sobre introducción ingeniería satelital y participó en la V expedición científica a la Antártida y participa en entrenamiento en pequeños satélites Cansat

Eduardo Camargo (Uniminuto), Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital con Maestría en comunicaciones móviles (en proceso de tesis), es investigador en tecnologías STEM del Parque Científico de Innovación Social de Uniminuto y líder del grupo de satélites Cansat para la formación de niños y jóvenes del colegio Minuto de Dios. Es formador de instructores SENA en las herramientas de Lego-Educación, profesor de la Facultad de Ingeniería de Uniminuto del programa de tecnología en electrónica y diseñador del satélite Cubesat del Parque Científico de Innovación Social

Artículos:

Jemy Cano, director de la revista y experto en temas de seguridad informática nos ha contribuido con un artículo titulado “Ciberseguridad en sistemas espaciales. Conceptos, tensiones y retos”, muy propio de su interés por los temas de seguridad. Plantea la necesidad de gestionar el espacio como un recurso que nos invita a superar las fronteras del conocimiento y hacer que las diferencias de control y po-

der desaparezcan. En esto cobra importancia la ciberseguridad

El profesor Raúl Joya hace una exposición sobre el satélite Libertad 1, lanzado al espacio por la Universidad Sergio Arboleda, bajo el formato de Cubesat, un cubo, con dimensiones de 10 x 10 x 10 cm en todas sus aristas y cuyo peso no sobrepasa el kilogramo de masa. El profesor Joya fue Co gestor y director del pico satélite Libertad 1.

El profesor Oscar Ojeda ha contribuido con un artículo titulado “Exploración Espacial y Desarrollo: Oportunidades para Latinoamérica” sobre temas aeroespaciales. Hace énfasis en superar la idea de que este tema sea reservado solo para unas pocas naciones, enfatizando en su relevancia e invitando a que países como el nuestro, en vías de desarrollo, busque cómo beneficiar al país en asuntos de control territorial, gestión de recursos naturales y seguridad nacional.

Luis Miguel Peña Arambarri ha aportado un artículo titulado “Introducción a las limitaciones actuales

en la predicción de propagación de orbitas de satélites” abordando la problemática de la seguridad espacial centrado en la necesidad de predicción de la posición y la velocidad de estos aparatos en órbita. Es necesario, según sus planteamientos, pensar en los peligros de colisiones y la mitigación de este tipo de riesgos. Analiza, científica y técnicamente, la importancia de tener conocimientos sobre la ubicación de los satélites en vuelo que permita predecir la evolución de dichas órbitas.

El ingeniero Manuel Dávila aportó un artículo titulado “Investigación en el diseño de algoritmos para análisis de imágenes satelitales” en donde expone varios algoritmos para el análisis de situaciones relacionadas con las observaciones del agua, la calidad del aire, geo referenciación de cultivos, incendios, deforestación, erosión costera, deslizamientos de tierra, monitoreo de volcanes e inundaciones como ejemplos del potencial de los satélites del programa Copernicus de la Unión Europea. 🌐

Innovación aeroespacial y la sostenibilidad

DOI: 10.29236/sistemas.n174a2



Resumen

La innovación aeroespacial y la sostenibilidad están avanzando de la mano en la búsqueda de soluciones que permitan reducir el impacto ambiental de la industria aeroespacial. La tecnología aplicada en la aviación, el diseño de satélites y otras áreas de la tecnología aeroespacial está en constante evolución, con un enfoque creciente en la reducción de emisiones, eficiencia energética y materiales ecológicos. Colombia no es indiferente a los objetivos de desarrollo sostenible adoptados por las Naciones Unidas en 2015 y sobre todo en cuanto a industria, innovación e infraestructura.

Palabras claves

Aeroespacial, sostenibilidad, SAF.

Introducción

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por las Naciones Unidas en 2015 son una guía global para promover el desarrollo económico, social y ambiental de manera equilibrada, con el fin de erradicar la pobreza y proteger el planeta. En el caso de Colombia, estos objetivos han tenido un impacto significativo en varios sectores del país, incluyendo la industria, la innovación y la infraestructura. Colombia, como parte de la comunidad internacional, se ha comprometido a trabajar en la consecución de estos ODS a través de políticas públicas, programas y proyectos orientados hacia la sostenibilidad.

Reducir el impacto ambiental de los vuelos comerciales es un desafío complejo, pero hay diversas estrategias que la industria está implementando o investigando para mitigar su huella ecológica. Estas estrategias van desde innovaciones tecnológicas hasta cambios en los comportamientos operativos y en los materiales utilizados.

En este artículo se revisan varios conceptos que tienen que ver con la innovación espacial y la sostenibilidad, entre otros: la innovación en combustibles, el uso de materiales ecológicos en la industria aeroespacial, la tecnología espacial sostenible y el uso de materiales ecológicos hoy en día en la tec-

nología aeroespacial, por último, se hacen unas reflexiones finales sobre el tema.

1. Innovación en Combustibles

Una de las principales áreas de innovación dentro de la aviación hace referencia a los combustibles que hoy en día se usan en este tipo de aeronaves, acá se está optimizando su uso y las fuentes de donde provienen, veamos continuación los tipos de combustibles más usados:

1.1. Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF)

Las aerolíneas y los fabricantes de aviones están invirtiendo en aviones con motores más eficientes, optimización aerodinámica y el uso de combustibles más sostenibles. Estos se usan en aviones híbridos y eléctricos y vemos como varias empresas están desarrollando aeronaves que funcionan con baterías eléctricas o una combinación de motores eléctricos y combustibles fósiles. Estos aviones tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones de CO₂ y otros contaminantes.

De igual forma, los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF por sus siglas en inglés) son combustibles producidos de fuentes renovables, como algas o residuos agrícolas. Los SAF pueden ser utiliza-

dos en los motores de los aviones tradicionales, reduciendo el impacto ambiental sin necesidad de hacer cambios significativos en la infraestructura existente. (Parejo & Marjaliza, 2024)

Los *Sustainable Aviation Fuel* - SAF están emergiendo como una de las soluciones clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria de la aviación. A medida que la demanda de transporte aéreo continúa creciendo, encontrar alternativas más ecológicas al combustible tradicional derivado del petróleo es crucial para mitigar el impacto ambiental de los vuelos. A continuación, se detallan los tipos más relevantes de combustibles sostenibles para aeronaves:

Tipos de SAF:

- **SAF basado en aceites vegetales y grasas:** Se producen a partir de aceites vegetales (como el aceite de palma, soja, y algas) o grasas animales, que se procesan para producir un combustible compatible con los motores de aviación. Este tipo de SAF tiene el potencial de reducir las emisiones de CO₂ en un 80% o más en comparación con los combustibles fósiles.
- **SAF a partir de residuos orgánicos:** Este tipo de SAF se produce a partir de residuos orgánicos como restos de comida, residuos agrícolas o de la industria forestal. El proceso de con-

versión de estos residuos en combustibles puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

- **SAF a partir de CO₂ capturado:** La captura y utilización de CO₂ (CCU) es una tecnología que convierte el dióxido de carbono extraído de la atmósfera en combustibles. Esto es una forma de reciclar el CO₂, transformándolo en combustible, lo que contribuye a un ciclo cerrado de carbono.
- **SAF a partir de algas:** Las algas tienen un gran potencial como materia prima para la producción de SAF debido a su alta productividad y su capacidad para absorber CO₂ durante su crecimiento. El proceso de conversión de algas en SAF todavía está en fase de investigación, pero promete ser una fuente muy sostenible de combustible a gran escala.

1.2. Energía derivada de residuos (Waste-to-Energy)

El proceso *waste-to-energy* convierte residuos no reciclables en combustible mediante diversas tecnologías, como la pirólisis o la gasificación. Algunos de estos procesos permiten producir combustibles líquidos que pueden ser utilizados en aeronaves, y al ser generados a partir de desechos, pueden ofrecer una reducción significativa en las emisiones netas de CO₂.

1.3. Biocombustibles de Segunda Generación

Los biocombustibles de segunda generación se fabrican a partir de materias primas no alimentarias, como residuos agrícolas, madera o pasto. Esto evita el impacto potencial sobre la seguridad alimentaria y la deforestación, que es un problema en los biocombustibles de primera generación (que se producen a partir de cultivos alimentarios como maíz o caña de azúcar).

1.4. Hidrógeno como Combustible

Aunque aún está en una etapa de desarrollo, el hidrógeno está siendo considerado como una alternativa viable para el transporte aéreo, especialmente en vuelos más cortos o en aeronaves de propulsión eléctrica-hidrógeno. Cuando el hidrógeno se quema o se usa en una célula de combustible, su única emisión es vapor de agua, lo que lo convierte en un combustible extremadamente limpio. Sin embargo, la infraestructura para producir y almacenar hidrógeno de manera eficiente y segura es aún un desafío importante.

1.5. Queroseno Sintético (Synfuels)

Los combustibles sintéticos son una clase de SAF producidos mediante la conversión de fuentes de carbono renovables o capturadas, como el CO₂ atmosférico. Estos

querosenos sintéticos, también conocidos como *Fischer-Tropsch Fuels*, se producen a través de un proceso químico que transforma gas natural, carbón o biomasa en un combustible que es químicamente indistinguible del queroseno convencional.

A pesar de ser más costosos de producir en comparación con los combustibles tradicionales, su huella de carbono puede ser mucho más baja.

Ventajas de los SAF:

- **Reducción de emisiones de CO₂:** Se estima que los SAF pueden reducir las emisiones de carbono en un 80% o más en comparación con los combustibles tradicionales, dependiendo de la fuente y el proceso de producción.
- **Compatibilidad con la infraestructura actual:** Los SAF pueden mezclarse con los combustibles tradicionales y utilizarse en los motores de aviación existentes sin necesidad de modificar la infraestructura de los aeropuertos ni los aviones, lo que facilita su adopción.
- **Mejoras en la seguridad energética:** Al diversificar las fuentes de combustible (como el uso de desechos o algas), los SAF pueden contribuir a una mayor seguridad energética y reducir la dependencia de fuentes fósiles.

Desafíos:

- **Costo de producción:** La producción de SAF sigue siendo más costosa que el combustible convencional, lo que representa una barrera para su adopción generalizada. Sin embargo, los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales pueden ayudar a reducir estos costos en el futuro.
- **Escalabilidad:** A pesar de los avances en la investigación, la capacidad de producción de SAF aún es limitada. Es necesario aumentar la capacidad de producción para satisfacer la creciente demanda del mercado aéreo.
- **Disponibilidad de materias primas:** La disponibilidad de materias primas sostenibles (como aceites vegetales, residuos agrícolas o algas) en grandes cantidades es un desafío. También se deben considerar las implicaciones sociales y ambientales del uso de ciertas materias primas.

2. Uso de materiales ecológicos

La industria aeroespacial también está innovando en el uso de materiales más sostenibles. Esto hace que hoy hablemos de materiales compuestos avanzados como materiales ligeros, fibra de carbono, que no solo reducen el peso de los aviones y satélites, sino que tam-

bién mejoran la eficiencia del combustible y reducen las emisiones.

Por otro lado, el reciclaje de piezas de aviones al final de su vida útil, como componentes de aluminio y titanio, es cada vez más creciente, esto contribuye a reducir el desperdicio.

Se busca que el impacto ambiental de la fabricación de aeronaves y satélites sea cada vez menor. Los avances en tecnología y diseño han permitido el uso de materiales más ligeros, resistentes y ecológicos, lo que no solo mejora la eficiencia en términos de combustible, sino que también contribuye a la reducción de residuos y la huella de carbono.

Se puede afirmar que algunos de los materiales ecológicos más utilizados hoy en día, en la industria aeroespacial son los siguientes:

2.1. Compuestos de Fibra de Carbono

La fibra de carbono es uno de los materiales más comunes en la fabricación de aeronaves modernas. Aunque no es "ecológico" en el sentido tradicional, tiene varias ventajas que lo hacen más sostenible en comparación con materiales metálicos tradicionales:

- **Ligereza:** La fibra de carbono es mucho más ligera que el aluminio, lo que reduce el peso de las aeronaves y, por ende, mejora la

eficiencia del combustible y reduce las emisiones de CO₂.

- **Mayor resistencia:** Ofrece una mayor resistencia y durabilidad, lo que reduce la necesidad de reemplazar o reparar las piezas con frecuencia, lo que al final reduce el impacto ambiental.
- **Longevidad:** La durabilidad de las piezas hechas con fibra de carbono prolonga la vida útil de las aeronaves, lo que reduce el desgaste y la necesidad de producir nuevos materiales.

Aunque la fibra de carbono en sí misma no es biodegradable ni renovable, su impacto ambiental se mitiga en gran parte debido a sus características de eficiencia y durabilidad.

2.2. Aluminio Reciclado

Este es ampliamente utilizado en la industria aeroespacial por su ligereza y resistencia a la corrosión. La principal ventaja de usar aluminio reciclado es que su proceso de fabricación tiene una huella de carbono mucho más baja en comparación con la extracción y procesamiento de aluminio virgen.

El reciclaje del aluminio utiliza hasta un 95% menos energía que la producción de aluminio a partir de bauxita, lo que lo convierte en una opción más ecológica y menos intensiva en recursos, reduciendo así el impacto ambiental. El aluminio

reciclado mantiene las propiedades mecánicas necesarias para aplicaciones en aeronaves y satélites. (Millán, 2026)

2.3. Titanio de Bajo Impacto

El titanio es un material muy resistente, ligero y resistente a la corrosión, por lo que es ideal para las aeronaves. Aunque la extracción y procesamiento del titanio tiene un alto impacto ambiental, los esfuerzos para reducir el impacto de su producción incluyen el uso de tecnologías más limpias y eficientes en términos de energía.

En algunos casos, se utilizan aleaciones de titanio reciclado para reducir el consumo de recursos naturales y minimizar el impacto ambiental asociado con su producción.

El titanio es extremadamente duradero, las piezas fabricadas con este material tienen una vida útil más larga, lo que también ayuda a reducir la cantidad de residuos generados a lo largo del tiempo.

2.4. Materiales Biodegradables

La industria aeroespacial está explorando la utilización de materiales biodegradables y compuestos orgánicos para aplicaciones específicas, como ciertos componentes interiores de aeronaves o envases utilizados en el proceso de fabricación.

Las fibras naturales como las fibras de cáñamo o de lino como alternativa a los materiales sintéticos derivados del petróleo se están empezando a usar, estas fibras son biodegradables y tienen una menor huella de carbono.

Por otro lado, los plásticos biodegradables están siendo reemplazados por plásticos convencionales que tardan siglos en descomponerse, algunos plásticos biodegradables y biopolímeros están siendo considerados para componentes menos críticos o interiores de aviones.

2.5. Nanomateriales y Compuestos Avanzados

El uso de nanomateriales en la industria aeroespacial está en expansión. Estos materiales, que incluyen nanotubos de carbono, grafeno y otros compuestos, pueden ofrecer propiedades únicas, como alta resistencia, ligereza y conductividad, mientras reducen el impacto ambiental de la fabricación.

Los nanotubos de carbono, por ejemplo, pueden mejorar la resistencia de los materiales de las aeronaves sin agregar peso extra, lo que contribuye a una mayor eficiencia de combustible y el grafeno por su parte, es conocido por ser extremadamente ligero y resistente. Aunque todavía está en fase de investigación, el grafeno tiene el potencial de ser utilizado en componentes estructurales y electróni-

cos de aviones y satélites, contribuyendo a la sostenibilidad de la industria.

2.6. Compuestos Basados en Resinas Ecológicas

En lugar de utilizar las resinas tradicionales, que son derivadas del petróleo, la industria aeroespacial está comenzando a investigar y utilizar resinas ecológicas derivadas de fuentes renovables. Estas resinas no solo tienen un menor impacto ambiental en términos de su producción, sino que también pueden ser recicladas con mayor facilidad que las resinas convencionales.

De igual forma, las resinas de base biológica, están hechas de materiales como el aceite de soja, resinas vegetales o ácido láctico derivado de la fermentación de biomasa, lo que hace que sean más sostenibles.

Las resinas ecológicas permiten una mayor facilidad de reciclaje, lo que contribuye a la reducción de residuos en la industria aeroespacial.

2.7. Reciclaje de Aeronaves

El reciclaje de aeronaves al final de su vida útil es otro aspecto clave para mejorar la sostenibilidad de la industria. Los materiales utilizados en la construcción de aviones, como aluminio, titanio y plásticos, pueden ser reciclados y reutilizados para fabricar nuevos produc-

tos. A medida que las aerolíneas y fabricantes se enfocan en reducir el desperdicio, se están implementando tecnologías y procesos más eficientes para dismantelar y reciclar aeronaves de manera más efectiva.

2.8. Tecnologías de Impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología emergente que está ganando popularidad en la fabricación de componentes aeroespaciales. Esta tecnología permite la creación de piezas complejas de manera eficiente, utilizando menos material y reduciendo el desperdicio.

En lugar de cortar y dar forma a un bloque de material, la fabricación aditiva construye las piezas capa por capa, lo que reduce el uso de materiales y residuos.

Actualmente se están desarrollando nuevos materiales para la impresión 3D, como plásticos biodegradables y aleaciones metálicas más sostenibles, lo que ofrece un enfoque más ecológico en la producción de componentes. (Velasco & Revelo, 2019)

3. Tecnología espacial sostenible

Los satélites y las misiones espaciales también están experimentando un cambio hacia la sostenibilidad, cada vez encontramos más satélites más pequeños y eficien-

tes, los CubeSats son un ejemplo de estos, estos son satélites pequeños y ligeros que requieren menos recursos para su construcción y lanzamiento. Esto reduce el impacto ambiental tanto en la fabricación como en la puesta en órbita.

La tecnología espacial sostenible se refiere al desarrollo y la implementación de soluciones tecnológicas que permiten explorar, utilizar y gestionar el espacio de manera que se minimicen los impactos ambientales, sociales y económicos a largo plazo. Hoy en día, existen varias iniciativas y enfoques en curso que buscan hacer que la exploración y la utilización del espacio sean más sostenibles.

Por otro lado, la basura espacial es un problema creciente, y la industria está desarrollando tecnologías para limpiar los restos de satélites viejos. Iniciativas como el uso de redes o láseres para atraer estos restos hacia la atmosfera y destruir desechos en órbita, esto ya está en desarrollo.

Algunos aspectos clave en cuanto a tecnología espacial sostenible se revisan a continuación:

3.1. Satélites y la reducción de desechos espaciales

Los desechos espaciales, o "basura espacial", son un gran problema. Actualmente, existen esfuerzos para desarrollar tecnologías que reduzcan la cantidad de residuos ge-

nerados por satélites y misiones espaciales. Esto incluye la creación de satélites con capacidades para desorbitarse de manera controlada al final de su vida útil o satélites que puedan ser reutilizados. Se están investigando métodos para recuperar y reutilizar componentes de satélites en lugar de dejarlos en órbita, lo que reduciría la acumulación de basura espacial. (Hang, y otros, 2025)

3.2. Propulsión espacial verde

En lugar de los tradicionales motores a base de combustibles químicos, la propulsión eléctrica o iónica se está desarrollando para misiones espaciales más sostenibles. Este tipo de propulsión es más eficiente y produce menos contaminación.

Como se mencionó en el apartado anterior, las investigaciones también están enfocadas en la creación de combustibles más amigables con el medio ambiente, como biocombustibles o propulsores basados en tecnologías más limpias.

3.3. Reutilización de cohetes y naves espaciales

Empresas como SpaceX y Blue Origin están a la vanguardia del desarrollo de cohetes reutilizables. Este enfoque tiene un gran impacto en la sostenibilidad, ya que reduce considerablemente los costos y recursos necesarios para lanzar misiones espaciales.

Además de la reutilización de cohetes, se busca que otros componentes, como las cápsulas o las plataformas de lanzamiento, puedan ser reutilizados.

3.4. Energía renovable en el espacio

Los satélites y naves espaciales generalmente utilizan paneles solares como fuente de energía. La investigación en eficiencia energética ha avanzado, mejorando la captación de energía solar, lo que permite un uso más sostenible de la energía.

Las celdas solares de alta eficiencia pueden capturar más energía en menos espacio, lo que optimiza el uso de recursos en misiones espaciales.

Así mismo, algunos aviones están comenzando a incorporar paneles solares en sus superficies, especialmente en los satélites y aviones no tripulados. Estos paneles solares pueden alimentar sistemas auxiliares a bordo, reduciendo el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones. A largo plazo, los aviones comerciales podrían beneficiarse de fuentes de energía renovable integradas en sus diseños. (Rodríguez, 2008)

3.5. Exploración espacial con impacto ambiental controlado

Las agencias espaciales están evaluando la posibilidad de extraer

minerales de asteroides o la Luna, las investigaciones sobre asteroides y recursos espaciales están llevando a la posibilidad de dejar de explotar recursos de la Tierra.

Este tipo de minería espacial podría reducir la explotación en la Tierra y disminuir los impactos ambientales de las industrias extractivas.

3.6. Colaboración internacional

Se están desarrollando marcos legales y acuerdos internacionales para asegurar que las actividades espaciales no comprometan la sostenibilidad del espacio exterior.

La Convención sobre el Derecho del Espacio Exterior y otros acuerdos buscan establecer principios de cooperación pacífica, prevención de la contaminación y el uso equitativo de los recursos.

3.7. Tecnología para monitorear el medio ambiente

Muchos satélites actualmente en órbita están diseñados para monitorear el clima y el medio ambiente de la Tierra. Estos instrumentos permiten recopilar datos esenciales sobre el cambio climático, la deforestación, la contaminación, entre otros.

Esta información es crucial para la toma de decisiones y la implementación de políticas sostenibles en la Tierra.

4. Uso de materiales ecológicos hoy en día en la tecnología aeroespacial

El uso de materiales ecológicos en la tecnología aeroespacial ha cobrado cada vez más relevancia en las últimas décadas, debido a la creciente conciencia sobre el impacto ambiental de la industria. Aunque la prioridad sigue siendo la seguridad, la eficiencia y la fiabilidad en los diseños aeroespaciales, los avances en materiales ecológicos están ayudando a mitigar algunos de los efectos negativos sobre el medio ambiente. A continuación, veamos algunos ejemplos de cómo se están utilizando:

4.1. Materiales compuestos sostenibles

Los compuestos de fibra de carbono son ampliamente utilizados en la industria aeroespacial debido a su alta resistencia y bajo peso. Sin embargo, la producción y el reciclaje de la fibra de carbono tienen un impacto ambiental significativo. Recientemente, se están investigando materiales compuestos ecológicos, como los basados en fibras naturales (por ejemplo, cáñamo, lino o bambú) o fibras sintéticas más sostenibles, que pueden ofrecer características similares, pero con un menor impacto ambiental.

Como ya se mencionó, una de las formas más directas de reducir el impacto ambiental es a través de los biocombustibles o combustibles

sostenibles de aviación (SAF). Estos combustibles son derivados de fuentes renovables, como residuos orgánicos, algas, o aceites vegetales. Comparado con los combustibles fósiles tradicionales, los SAF tienen el potencial de reducir las emisiones de carbono hasta en un 80% durante su ciclo de vida. A medida que se incrementa la producción y la infraestructura para estos combustibles, se puede lograr una transición significativa hacia una aviación más verde. (Montufar-Marcalla & Remache-Coyago, 20-21)

4.2. Aluminio reciclado y aleaciones ligeras

Como se mencionó en apartado 2.2., el aluminio es un material comúnmente utilizado en la fabricación de componentes de aeronaves. El uso de aluminio reciclado es una de las estrategias más efectivas para reducir el impacto ambiental. También se están desarrollando aleaciones ligeras y más eficientes, que permiten una mayor eficiencia de combustible y reducen las emisiones de carbono en los vuelos. (Millán, 2026)

De igual forma, el uso de materiales más ligeros y aerodinámicos (como los compuestos de fibra de carbono) ayuda a reducir el consumo de combustible. Los aviones más ligeros requieren menos energía para volar, lo que resulta en una reducción de las emisiones de gases contaminantes. Además, se están

desarrollando diseños más eficientes en términos de aerodinámica, como alas más delgadas o fuselajes más optimizados.

4.3. Recubrimientos ecológicos

Los recubrimientos utilizados en aeronaves, como los que protegen contra la corrosión o mejoran la aerodinámica, pueden ser altamente contaminantes debido a los compuestos químicos que contienen.

Por ello, se está investigando el uso de recubrimientos ecológicos más amigables con el medio ambiente, como los recubrimientos basados en polímeros biodegradables o aquellos que usan menos sustancias tóxicas.

4.4. Uso de biocombustibles

En lugar de los combustibles fósiles tradicionales, los biocombustibles han sido una alternativa ecológica en la industria aeroespacial. Los aviones de nueva generación están comenzando a probar combustibles derivados de materias primas renovables, como algas o residuos orgánicos, que emiten menos gases de efecto invernadero.

4.5. Aerogeles ecológicos

Los aerogeles son materiales extremadamente ligeros y con una excelente capacidad de aislamiento térmico. Se están utilizando cada vez más en aplicaciones aeroespaciales debido a su eficiencia.

Además, algunos aerogeles se están desarrollando con procesos más sostenibles y materiales menos contaminantes. (Aghbalou, 20-23)

4.6. Energía renovable en el diseño de naves

El uso de paneles solares y otras tecnologías basadas en energía renovable se han venido integrando en los diseños de satélites y aeronaves. Esto reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables y puede contribuir a la eficiencia energética.

De igual forma, los aviones eléctricos y híbridos están comenzando a ser una realidad en el diseño de la aviación. Aunque estos aviones aún están en las etapas iniciales de desarrollo, las primeras pruebas y modelos para vuelos cortos y medianos ya están mostrando el potencial para reducir drásticamente las emisiones. Las baterías y celdas de combustible están mejorando constantemente, y se espera que en el futuro haya una mayor adopción de esta tecnología en la aviación comercial.

4.7. Tecnología para la reducción de emisiones de CO₂

Además de los materiales, la innovación en la tecnología de los motores y sistemas de propulsión también está enfocada en reducir las emisiones contaminantes. El desarrollo de motores más eficientes y el

uso de materiales como el titanio y otros elementos ligeros pueden contribuir a la reducción de la huella de carbono de los aviones.

La mejora de la eficiencia de los motores es una de las formas más efectivas para reducir las emisiones de CO₂ en la aviación. Esto incluye el desarrollo de motores más eficientes que consumen menos combustible y generan menos emisiones. Empresas aeronáuticas están invirtiendo en motores híbridos y eléctricos, los cuales prometen un menor consumo de combustible y una reducción de las emisiones contaminantes. (Chavarry, Zavala, & Rojo, 2023)

Conclusiones / Reflexiones finales

1. Los combustibles sostenibles para aeronaves son una de las mejores oportunidades para hacer frente al desafío de la descarbonización del sector aeronáutico. Aunque todavía existen obstáculos técnicos y económicos, la innovación en esta área está en pleno auge y promete contribuir significativamente a la sostenibilidad de la aviación en el futuro.
2. La industria aeroespacial está adoptando una variedad de materiales ecológicos para hacer frente a los desafíos medioambientales y avanzar hacia un futuro más sostenible. Desde el uso de compuestos de fibra de

carbono y aluminio reciclado hasta la exploración de biocompuestos y materiales biodegradables, el enfoque en la sostenibilidad está marcando una diferencia significativa en la reducción de la huella de carbono y el impacto ambiental de la industria. A medida que la tecnología avanza, es probable que veamos una adopción aún mayor de estos materiales ecológicos, lo que contribuirá a una aviación más verde y responsable.

3. La industria aeroespacial está avanzando hacia un futuro más sostenible mediante la incorporación de materiales ecológicos y el desarrollo de nuevas tecnologías que no solo mejoran la eficiencia y la seguridad, sino que también ayudan a minimizar el impacto ambiental. Sin embargo, estos cambios son graduales y requieren un esfuerzo continuo en investigación y desarrollo para encontrar soluciones viables y económicamente rentables.
4. El camino hacia una tecnología espacial más sostenible se está construyendo con una combinación de innovación tecnológica, mejores prácticas de gestión de recursos y un enfoque global hacia la protección del medio ambiente, tanto en la Tierra como en el espacio. La sostenibilidad espacial hoy es una prioridad creciente, y los avances en estos campos son esenciales para asegurar un futuro más se-

guro y responsable en la exploración espacial.

5. Por último, la innovación aeroespacial y la sostenibilidad están cada vez más interconectadas, con un claro objetivo de reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en todas las áreas de la industria. Estos avances no solo son cruciales para combatir el cambio climático, sino que también abren nuevas oportunidades para el desarrollo de tecnologías que pueden beneficiar a diversas industrias en el futuro.

Referencias

- Aghbalou, S. (2023). Desarrollo y caracterización de aerogeles biobasados. (pág. 76). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Chavarry, C. M., Zavala, J. d., & Rojo, M. A. (2023). Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO₂ en edificaciones multifamiliares. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 52-62.
- Hang, X., Lujiang, L., Yanning, G., Youmin, G., Bin, S., & Guangfu, M. (2025). Mission planning for repeated multi-spacecraft non-contact debris removal. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- Millán, F. (2026). Fabricación y caracterización de la aleación de aluminio reciclado con adición de silicio particulado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Montufar-Marcalla, A., & Remache-Coyago, A. (2021). Composite materials of polymer reinforced with cabuya and coconut fiber applied to the automotive sector. *Ciencias técnicas y aplicadas*, 436-465.

Parejo, T., & Marjaliza, C. (2024). Sustainable aviation fuels: an industrial opportunity for Spain for a just ecological transition. *Revista Diecisiete*, 22.

Rodríguez, H. (2008). Development of Solar Energy in Colombia and its

Prospects. *Revista de Ingeniería*, 83-89.

Velasco, E., & Revelo, D. (2019). 3D printing: the new industrial revolution. *I+T+C Investigación, Tecnología y Ciencia*, 60-71. 

Jorge Enrique Espíndola Díaz, PhD. Ingeniero de Sistemas de la Universidad EAN, profesor titular de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la UPTC seccional Sogamoso; Especialista en Telemática de la Universidad Autónoma de Colombia, con Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital; Doctor en Ciencias de Ingeniería y Tecnología Espacial del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales, INPE - Brasil; realizó su pasantía internacional en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Ben-Gurión del Néguev, en Beersheba, Israel. Actualmente hace un posdoctorado a través de una beca de Minciencias en la empresa M&D AeroSpace, donde se desarrolla un proyecto con tecnología satelital.

Experimentada voz en ciencias espaciales

DOI: 10.29236/sistemas.n174a3

Manuel Dávila S.

Nuestro entrevistado es CEO y Presidente de la Asociación Espacial **NSS** Colombia. El Coronel (r) Raúl E. Gutiérrez G., @Col_ad_Astra en la red social X, siempre quiso ser astronauta. Fue piloto de ala fija (aviones) y ala rotatoria (helicópteros) de la Fuerza Aérea Colombiana, hoy llamada Fuerza Aeroespacial, es administrador aeronáutico con especializaciones en Seguri-

dad y Defensa Nacional, y en Comando y Estado Mayor, y con maestría en Administración Aeroespacial.

Manuel Dávila: *¿Nos puede describir su perfil profesional en este tema de las ciencias espaciales?*

Coronel Raúl Gutiérrez: Es una pasión que se remonta a mí más



temprana infancia; tenía tres años y un mes cuando vi por televisión el alunizaje de Neil Armstrong y Edwin “Buzz” Aldrin, evento histórico que me marcó por el resto de mi vida pues siempre desee ser astronauta, pero en mi país. Soñaba con que Colombia tuviera un programa espacial y astronautas, y aunque no logré ese sueño si alcancé otro, ser piloto de la Fuerza Aérea Colombiana y obtener mi maestría en Administración Aeroespacial (Aerospace MBA). Aunque no se han dado las condiciones para tener as-

tronautas nacidos en el país, hay que reconocer la existencia de los avances en estos asuntos.

En el año 2008, fui comisionado por la FAC para realizar el Aerospace MBA en Francia y al regreso fui nombrado director del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales de la FAC, en Cali. Luego, en 2012, fui nombrado Jefe de Asuntos Espaciales de la Fuerza Aérea, siendo el primer oficial en ocupar ese cargo desde el cual, puedo decir con orgullo, tuve la

oportunidad de aportar para los inicios del actual programa satelital de la FAC denominado FACSat.

Una vez retirado del servicio activo, fui cofundador de dos empresas, una en el Reino Unido llamada Satellite Squared, dedicada a desarrollar soluciones tecnológicas para ayudar a Satélites con problemas de manejo de energía en órbita, y la otra, una firma de consultoría en Canadá llamada Octant Aerospace Consulting. Si bien Satellite Squared ya no existe, la de consultoría en Canadá aún sigue tratando de articular esfuerzos e intereses espaciales en Norteamérica, Latinoamérica y Europa.

En 2020, me comprometí con la creación de la Asociación Espacial de Colombia denominada National Space Society Colombia. Este nombre en inglés se debe a que somos un capítulo de la National Space Society de Estados Unidos, una de las organizaciones de su tipo más antiguas y grandes del mundo, es así que Colombia tiene su capítulo internacional de la NSS.

A largo de toda mi vida he estado desarrollando esa faceta y ese amor por los temas espaciales.

MD: *Sabemos que usted es el líder fundador de la “National Space Society Colombia NSSC”, ¿nos puede contar sobre esta asociación?*

Cnel. RG: La NSSC es una entidad sin ánimo de lucro que crea-

mos para facilitar el trabajo y la participación de personas, científicos, profesionales, estudiantes y también universidades y empresas, como una forma de contribuir al desarrollo del país en el ámbito espacial.

La NSS Colombia promueve el desarrollo espacial de Colombia a través de la articulación de actores, no pretende ser una agencia espacial ni suplantar el papel que el Estado y específicamente el gobierno deben desarrollar como líderes del desarrollo de un país en este ámbito.

Buscamos ser articuladores de los esfuerzos y capacidades, tanto de personas como entidades científicas o académicas trabajando de la mano con las entidades del Estado colombiano. Es una organización conformada en la actualidad por cerca de 90 miembros, entre personas naturales y jurídicas y se orienta en cinco direcciones: ciencia tecnología espacial, asuntos legales espaciales, industria y emprendimiento espacial, divulgación y comunicaciones, y la de educación y cultura. Cada una de estas Direcciones tiene su director y cuenta con un equipo de trabajo para desarrollar proyectos y actividades en esos enfoques o áreas específicos, contribuyendo al desarrollo de Colombia en el ámbito espacial.

MD: *La Fuerza Aérea se llama ahora “Fuerza Aeroespacial Colombiana”. ¿A qué se debe ese cambio de nombre?*

Cnel. RG: El cambio de nombre se debe a que la Fuerza Aérea incorporó la dimensión espacial en sus capacidades al estructurar y desarrollar el programa satelital militar denominado FACSat, el cual ya ha lanzado al espacio dos pequeños satélites tipo CUBESAT. El FACSat 1, lanzado al espacio en noviembre de 2018, era un nanosatélite de dimensiones de 30 x 10 x 10 cm, un satélite más de tipo académico para que el personal de la institución aprendiera todo lo relacionado con las misiones satelitales.

Con el FACSat 2, un nanosatélite un poco más grande, del doble del tamaño del FACSat 1 (6 unidades del estándar CUBESAT, es decir de 30 x 20 x 10 cm), lanzado en abril de 2023, la FAC buscó aplicar lo aprendido tanto en el diseño de sistemas satelitales como en su operación.

El FACSat 1 salió de servicio y se desintegró en la atmósfera tras haber cumplido su vida útil (agosto 2024), pero en FACSat 2 que es un activo espacial de mayor capacidad, todavía se encuentra en órbita y operando. Se trata de un nanosatélite que dispone de una cámara para captar imágenes con resolución de 4.7 m por pixel. Pero no solamente están estos satélites. Para poder operar sus activos espaciales, la Fuerza Aeroespacial cuenta con un sofisticado centro de operaciones espaciales (SpOC por sus siglas en inglés) en la Escuela Militar de Aviación en Cali, muy bien

estructurado, muy bien equipado y con el personal idóneo para la operación de satélites.

La FAC aspira a desarrollar próximamente la constelación FACSat 3 de la cual esperan lanzar el primero (FACSat 3A), probablemente hacia finales del próximo año o principios del 2027. Este programa satelital busca contribuir no solamente a las necesidades de la institución, es decir en el ámbito de la seguridad y la defensa, sino aportar al desarrollo científico y académico del país catalizando y articulando esfuerzos de las universidades, las empresas y otros actores.

En resumen. Al haber desarrollado sus capacidades espaciales, la Fuerza Aérea consideró necesario también cambiar su nombre o denominación y eso implicó tramitar una ley estatutaria para cambiar la constitución política de Colombia en su artículo 217, el cual estipulaba de manera taxativa el nombre de las Fuerzas Militares (Ejército Nacional de Colombia, Armada Republicana de Colombia y hasta ese momento Fuerza Aérea Colombiana), pasando ahora a denominarse Fuerza Aeroespacial Colombiana, lo cual no solamente refleja el desarrollo de sus capacidades espaciales, sino que está en sintonía con lo que está ocurriendo en otros países del mundo donde o se crean fuerzas espaciales o las antiguas fuerzas aéreas pasan a denominarse fuerzas aeroespaciales o similar.

MD: *¿Hasta dónde considera usted que el país debe llegar en este tema satelital, sobre todo teniendo en cuenta los altos costos de esta industria?*

Cnel. RG: El país tiene muchísimas necesidades y uno podría pensar que invertir dinero en desarrollo de capacidades satelitales es descuidar la obligación que tienen todos los Estados de proveerle condiciones de vida dignas con todos los medios a sus habitantes, pero lo que hay que tener claro es que se va al espacio y se tiene Satélites, especialmente, para vivir mejor en la tierra, para aprender lo que está pasando en el planeta, en el territorio nacional, para aprender de los diferentes fenómenos que afectan nuestra integridad territorial, nuestros campos, nuestras fuentes de agua; en el mar, con la fauna marina y demás, para cuidar y aprovechar mejor los recursos. Sin la información que nos proveen los Satélites es muy difícil saber, conocer y poder prevenir o corregir todos los fenómenos que afectan este vasto territorio que tiene el país más sus vastas aguas territoriales.

Cuando se tiene un programa satelital se logra ofrecer información que contribuye al desarrollo de soluciones y que permite dar respuesta rápida a muchos problemas. Es el caso de la respuesta a fenómenos naturales tales como desastres o inclusive de fenómenos humanos como puede ser el caso del derrame de petróleo y muchas, muchas,

otras aplicaciones para el uso de la información satelital.

¿Hasta dónde debería ir Colombia? Pues hasta el punto de tener control, autonomía y soberanía de los medios espaciales para no depender de terceros ya sean estos países o empresas privadas internacionales que son quienes actualmente nos suministran la información satelital.

Hasta ahora Colombia ha dependido de la información que nos suministran terceros sin tener control sobre la calidad oportunidad y posibilidad de acceso a dicha información por todos los diferentes actores públicos y privados del país.

Dicho todo lo anterior, desarrollar capacidades satelitales propias y soberanas se trata ya no de un gasto sino de una inversión que el país requiere y demanda.

MD: *¿Qué pasa con la Comisión Colombiana del Espacio?*

Cnel. RG: La Comisión Colombiana del Espacio (CCE), suple parcialmente la ausencia de una agencia espacial mediante la articulación del esfuerzo y capacidades de las 15 entidades que la integran. La CCE es presidida por la Presidencia de la República. El señor presidente de la República delegó en el señor Saúl Kattan, alto consejero de transformación digital, para ejercer la presidencia de la Comisión en su nombre y como lo mencio-

naba, además de la Presidencia de la República, la integran otras 14 entidades (ocho ministerios, el departamento nacional de planeación, la Fuerza Aeroespacial Colombiana, la Aeronáutica Civil, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Instituto de Hidrología IDEAM, y la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional).

La CCE cuenta con un órgano técnico denominado Comité Técnico de Asuntos Espaciales. El Comité, a su vez, está constituido por cuatro grupos de trabajo: capacidades en comunicaciones satelitales, capacidades en observación de la tierra, asuntos y fundamentación legal, y asuntos internacionales. En cada uno de estos grupos de trabajo se encuentran delegados de las diferentes entidades que integran la Comisión de acuerdo con las tareas, responsabilidades y también de los intereses de dichas entidades. Dentro de cada uno de estos grupos de trabajo se adelantan diferentes proyectos para fortalecer el desarrollo espacial de Colombia. El Comité Técnico de Asuntos Espaciales es liderado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, del cual formo parte como coordinador del Comité.

Entre los proyectos que adelante el Comité, está el de crear la agencia espacial nacional la cual será una entidad con autonomía administrativa que dependa directamente de la Presidencia de la República, dada la gran transversalidad del te-

ma espacial que afecta y es de interés, no solamente para estas 15 entidades que forman parte de la CCE sino para muchas otras entidades tanto públicas como privadas.

Esa agencia es un anhelo y una necesidad del país desde hace muchos años de hecho, cuando se creó la Comisión Colombiana del Espacio mediante el decreto 2442 del 2006 se concibió como un mecanismo de transición hacia la creación de la Agencia Espacial y sin embargo hoy, 19 años después, aún no se ha creado.

Existen algunas entidades privadas que se han denominado a sí mismas como agencia espacial de Colombia lo cual no deja de ser un error porque una entidad privada no puede pretender representar a todo un país. Una entidad que represente al Estado colombiano en su totalidad y tenga a su cargo la responsabilidad del desarrollo espacial nacional, tiene que ser liderada por el poder ejecutivo.

En tal sentido, se pretende solucionar esa ausencia de una entidad pública de carácter oficial y nacional que represente los intereses de todo el país; que articule el trabajo y capacidades de las entidades públicas y privadas, de lo civil y lo militar; de la academia y las empresas, para desarrollar, entre otras cosas, un ecosistema de desarrollo espacial que trabaje para el futuro de Colombia en este campo de tanta

importancia y que represente a Colombia ante la comunidad internacional y ante las demás agencias, en igualdad de condiciones para desarrollar proyectos de diferente naturaleza en el campo espacial.

Pero la CCE no trabaja únicamente en el proyecto de crear la agencia espacial nacional. También está adelantando estudios y formulando propuestas para la adquisición de capacidades satelitales propias para Observación de la Tierra y para Telecomunicaciones. El desarrollo de capacidades satelitales nacionales no se trata de algo de una moda, sino que es una necesi-

dad de todos los países y por eso hoy en día casi todos tienen sus agencias y programas espaciales, que permiten aprovechar la ciencia y la tecnología espacial en beneficio de sus habitantes. Para el desarrollo de su economía y para resolver muchas de las necesidades que surgen en la tierra.

No podría concluir el presente sin hacer una sincera y vehemente invitación a todos los lectores de la revista SISTEMAS, a informarse, involucrarse y aportar decididamente en las diferentes facetas del desarrollo. 🌐

Manuel Dávila Sguerra. Ingeniero de sistemas de la Universidad de los Andes. Maestría Cum Laude en Filosofía de la Universidad Javeriana. Fundador y cofundador de varias redes y asociaciones como la Red de programas de ingeniería de sistemas – REDIS (100 universidades), Indusoft la asociación de industriales del software hoy llamada Fedesoft, la Asociación Colombiana de ingenieros de sistemas ACIS. Columnista en revistas especializadas de sistemas con cerca de 180 publicaciones, autor de 4 libros sobre tecnología y sociedad y autor del libro sobre “Algoritmos para interpretar las imágenes satelitales del proyecto Copernicus de la unión europea”.

¡AFILIATE YA!

Y DISFRUTA DE ESTOS BENEFICIOS

- Actualización en formación profesional y académica de manera constante.
- Candidatura a participación profesional en proyectos de ACIS.
- Candidato a Director o CoDirector de Grupo de Interés (GI).
- Candidatura a participar en consultorías solicitadas a ACIS por el sector privado y público.
- Candidatura a participar en eventos nacionales o internacionales como delegado de ACIS.
- Candidato a Miembro de Consejo Editorial de la Revista Sistemas.
- Descuentos especiales en cursos y eventos exclusivos en el área de las TIC.
- Referencia profesional para vinculación como Perito en procesos de arbitraje.
- Referencia para participación en Juntas Directivas.
- Inclusión en el gremio de Ingenieros de Sistemas más importante del país.
- Recepción trimestral de la revista SISTEMAS en formato digital.
- Acceso diferido a la base de Webinars de ACIS.
- Acceso exclusivo a oportunidades laborales a través de nuestro portal de empleo.
- Participación como conferencista o participante en las charlas semanales.
- Correo personal con @acis.org.co
- Asista a las funciones del Teatro Nacional con un 20% de descuento. Consulte la Programación y solicite el descuento a cursos@acis.org.co.
- 30% de descuento en los libros de la Casa Editorial ALFAOMEGA, consulte el Catálogo

Afiliación General

Afiliación + Precio de estudio de formulario



\$ 323.400 + \$ 60.000

Afiliación para recién egresados

Descuento de 20% para recién egresados, (2 años) + Precio de estudio de formulario



\$ 258.800 + \$ 60.000

Algoritmos para el análisis de imágenes satelitales

**Con el programa
Copernicus de la
Unión Europea**

DOI: 10.29236/sistemas.n174a4

Manuel Dávila Sguerra

Contenido

I Introducción	32
II. Tipos de análisis	32
2.1 Cambios en las masas de agua de las lagunas o afluentes hídricos con el satélite Sentinel-2. Caso: Laguna de Suesca, Colombia	32
2.2 Calidad del agua, con el satélite Sentinel-2. Caso: Lago de Tota, Colombia	33
2.3 Calidad del aire, con el satélite Sentinel-5. Caso: Polución NO2 a nivel mundial vs Covid	34
2.4 Referenciación de cultivos y análisis de características de la tierra, con el satélite Sentinel-2. Caso: 400 cultivos de Guadua en Cundinamarca, Colombia	35
2.5 Hundimientos de la tierra debido a sismos con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Los Santos, Colombia	36
2.6 Incendios, con el satélite Sentinel-2. Caso: Zona del Catatumbo cerca de Cúcuta, Colombia	37
2.7 Deforestación, con el satélite Sentinel-2. Caso: El Caguán, Colombia	38
2.8 Erosión costera, producto de las mareas marinas en las costas con el uso de radar, con el satélite Sentine-1. Caso: Senegal en África occidental	38
2.9 Deslizamiento de tierras por derrumbes y terrenos debilitados por deforestación con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: tierra de Fagraskógarfjall en Islandia	39
2.10 Sequías por falta de lluvias, con el satélite Sentinel-2. Caso: Ciudad del Cabo Suráfrica	39
2.11 Monitoreo de volcanes, creando alertas tempranas de las erupciones y producción de lava en los territorios cercanos a sitios poblados, con el satélite Sentinel-2. Caso: Volcán Etna en Sicilia	41
2.12 Inundaciones con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Sur África Occidental	42

1. Introducción

A veces las imágenes satelitales se interpretan como unas simples fotografías, siendo en realidad sistemas de información recogidos por los sensores de los diferentes satélites para ser estructurados e interpretados bajo el estado del arte del espectro electromagnético, la teoría de la física, los análisis de la biología y las estructuras matemáticas con algoritmos que hacen posible interpretar las transformaciones de la tierra.

2. Tipos de análisis

A continuación, enumeraremos algunos posibles tipos de análisis.

2.1 Cambios en las masas de agua de las lagunas o afluentes hídricos con el satélite *Sentinel-2*. Caso: Laguna de Suesca, Colombia

El agua, requiere una vigilancia permanente en las fuentes, en cuanto a sus volúmenes. Para ello se analizan las imágenes bajo varias combinaciones de bandas con índices como el *MSI Land Water* con la combinación de las bandas B11, B8, B4 (Acolita, 2019) para observar el estado de la vegetación, el suelo y el agua, hasta llegar al índice *NDWI* ($B3 - B8 / (B3 + B8)$) (Acolita, 2019) que nos mostrará las áreas en las que solo hay agua

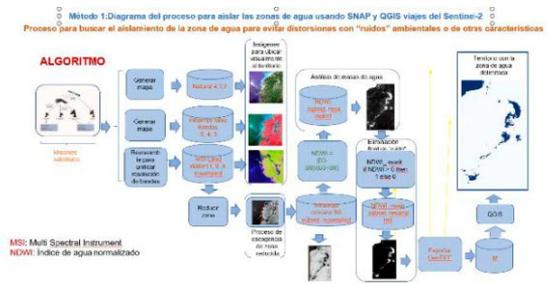


Ilustración 1. Algoritmo para determinar masas de agua

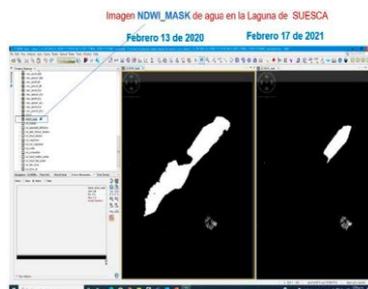


Ilustración 2. Imágenes bajo el índice NDWI que muestran verdadera presencia de las masas de agua en dos fechas diferentes



Ilustración 3. Relacionamiento regional con Open Street Map

para hacer mediciones de áreas, perímetros y otras características para conocer la evolución de las áreas acuosas.

2.2 Calidad del agua, con el satélite Sentinel-2. Caso: Lago de Tota, Colombia

En el caso del agua, no solo son importantes sus caudales sino también su calidad. Valga decir que las tecnologías satelitales permiten hacer análisis del líquido, equivalentes, aunque no exactamente idénticas, a los análisis químicos que se hacen en tierra, permitiendo revisar la existencia de residuos sólidos o métricas de clorofila, lo que también ofrece la posibilidad de

crear alertas tempranas orientadoras para los cultivadores. La red neuronal llamada C2RCC (Brockman-cónsul, 2014) mostrará las propiedades ópticas inherentes, dando como resultados aspectos como: la absorción de pigmentación que es el parámetro determinante del color. El desgaste de disgregación en partículas de una materia sólida. Absorción de material de espacio de aire que aumenta la cantidad de materia orgánica, el agua se vuelve verde, amarillo verdosa y luego marrón. Coeficiente de absorción y residuos. Esparcidor de sedimentos. Material suspendido. Concentración de clorofila entre otros.



Ilustración 4- Algoritmo para analizar calidad del agua

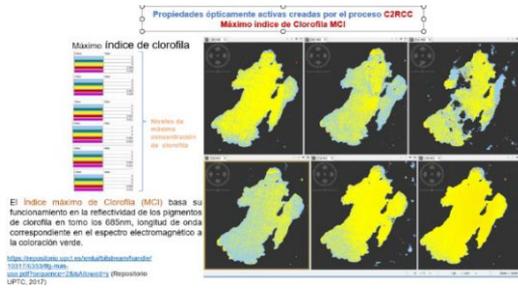


Ilustración 5. Ejemplo de mediciones de uno de los componentes activos: Clorofila en este caso

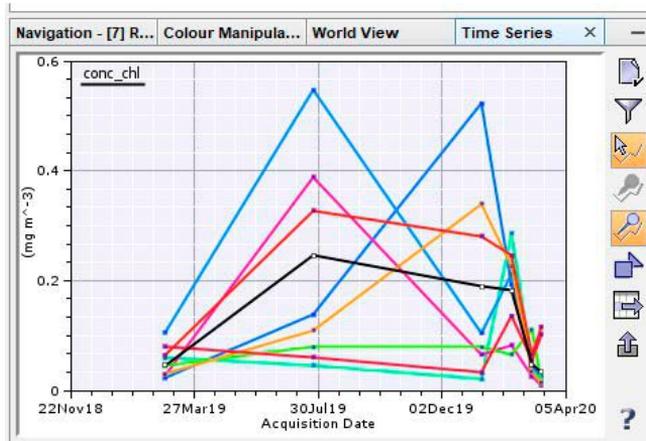


Ilustración 6. Medidas de clorofila en gramos / metro cúbico en distintos puntos seleccionados de la laguna

2.3 Calidad del aire, con el satélite Sentinel-5. Caso: Polución NO₂ a nivel mundial vs Covid

La polución del aire obedece, en general, a la presencia de elementos químicos producto de los motores industriales, vehículos de transporte, quemas y otros (Rus, 2019) más como ozono (O₃), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) (Saludgeoambiental, 2022), formaldehído (HCHO), penacho volcánico, dióxido de azufre (SO₂), aerosoles,

entre otros, cuya contaminación es riesgosa para la salud humana. Una vigilancia constante de estos fenómenos sería de gran ayuda para proteger a los pobladores. En este sentido es posible analizar el estado de la calidad del aire en el caso del NO₂, por ejemplo, siguiendo las recomendaciones de los científicos que piensan que este tipo de contaminación puede estar relacionada con el Coronavirus, es posible hacer este tipo de análisis a nivel mundial como se logró hacer aplicando el algoritmo adecuado.

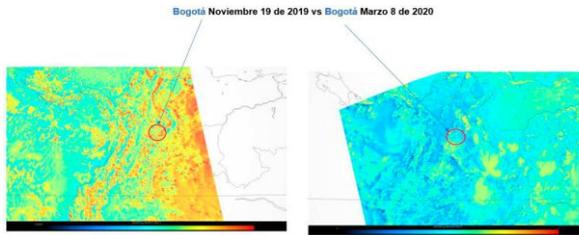


Ilustración 7. Comparación de aerosoles de la zona de Bogotá antes de la pandemia y durante el encierro

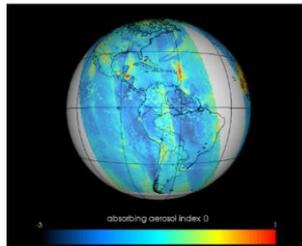


Ilustración 8. Mapamundi con concentraciones de aerosoles

2.4 Referenciación de cultivos y análisis de características de la tierra, con el satélite Sentinel-2.

Caso: 400 cultivos de Guadua en Cundinamarca, Colombia

Los diferentes cultivos, al ser geo referenciados, permite visualizar su ubicación en los territorios anexando en las imágenes datos sobre sus propietarios y las variables que se consignan en las bases de datos que los identifiquen. Este algoritmo

permite visualizar los territorio con diversas combinaciones de bandas como vigorosidad agrícola, geo referenciar los cultivos, aplicar el índice $NDVI$ $(B8 - B4) / (B8 + B4)$ (Acolita, 2019) asociado con el contenido de vegetación y analizar su estrés, aplicar el índice $LSWI$ $(B8 - B11)/(B8 + B11)$ (Acolita, 2019) para observar la acuosidad de la superficie de la tierra, generar el mapa con los índices de contenidos



Ilustración 9. Algoritmo para georeferenciación de cultivos

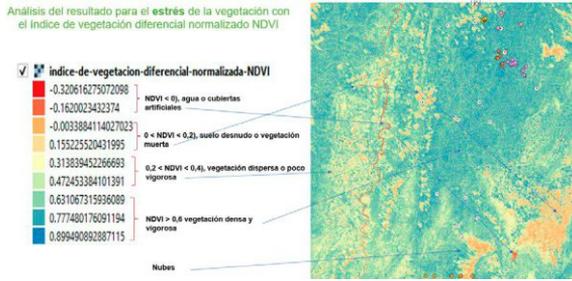


Ilustración 10. Índice NDVI para estrés de vegetación con cultivos georeferenciados

de Clorofila y analizar la densidad de biomasa con el índice $EVI\ 2.5^*$ $((B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1))$ (Acolita, 2019), entre otros resultados.

2.5 Hundimientos de la tierra debido a sismos con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Los Santos, Colombia

Uno de los cambios que generan los sismos es el corrimiento del terreno tanto verticalmente como horizontalmente, cambios que en grandes proporciones pueden generar problemas como deforestación o debilidad del suelo. En este

caso se trabaja con el *Sentinel-1* (Sentinel Online, 2024) que usa radar, pero requiere hacer una “limpieza” de los datos filtrando “ruidos” del espectro electromagnético. En las siguientes etapas se hacen correcciones del efecto *Doppler* (Efecto Doppler, 2024) ya que por estar el satélite en movimiento genera imágenes que deben ser bien interpretadas. Estos resultados intermedios permitirán generar los mapas de coherencia e interferogramas (Cdn, 2024). que permiten llegar a un mapa final que mide por pixel los desplazamientos del terreno.

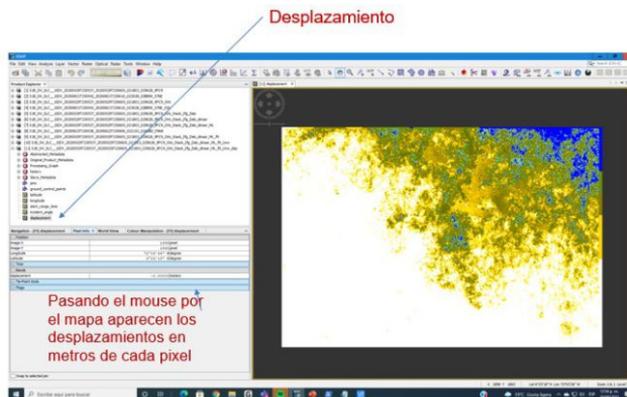


Ilustración 11. Imagen final que muestra desplazamientos del terreno por pixel

2.6 Incendios, con el satélite Sentinel-2. Caso: Zona del Catatumbo cerca de Cúcuta, Colombia

Los incendios producen polución del aire, aun en las poblaciones cercanas habitadas, ya que el humo viaja con el viento. Se busca calcular el índice de quemado normalizado (*NBR*) ($B8-B12/(B8 + B12)$) diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de incendio. La fórmula es similar al

NDVI (Acolita, 2019), excepto que combina el uso de longitudes de onda de infrarrojo cercano (*NIR*) (Acolita, 2019) e infrarrojo de onda corta (*SWIR*) (Acolita, 2019). Con los dos mapas trabajados se busca calcular la diferencia de *NBR* (Acolita, 2019) entre pre-fuego y post-fuego que es la relación de quema normalizada delta (*dNBR*), dato que analizado según su valor numérico permite identificar las zonas más quemadas.

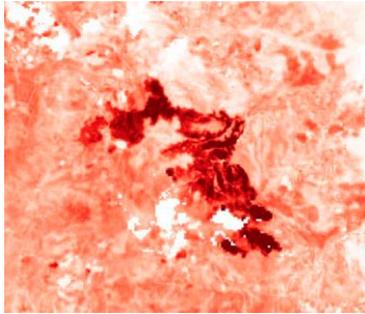


Ilustración 12. Ubicación real del incendio

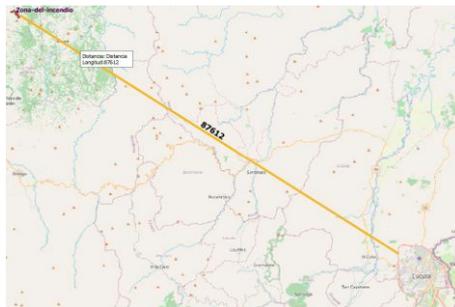


Ilustración 13. Ubicación de la zona y distancia al sitio detectado con humo

2.7 Deforestación, con el satélite Sentinel-2. Caso: El Caguán, Colombia

La pérdida de los árboles afecta muchos aspectos del equilibrio natural por el cual debemos propender. Este caso puede ser estudiado, para detectar los cambios de clorofila en la copa de los árboles, humedad de las hojas, índices de áreas de las hojas, fotosíntesis, cobertura de vegetación, contenido de agua y otras características más que permiten una vigilancia y planeación del cuidado de nuestros bosques. Requiere un flujo de trabajo para crear unas variables biofísicas que contienen los índices normalizados de reflectancia de las

copas de los árboles que son las que nos van a dar la posibilidad de analizar las transformaciones de la vegetación. Es posible ver el contenido de clorofila de tal manera que el sistema va a mostrar un eje cartesiano con el índice correspondiente durante las fechas de los vuelos en estudio.

2.8 Erosión costera, producto de las mareas marinas en las costas con el uso de radar, con el satélite Sentine-1. Caso: Senegal en África occidental

Este algoritmo utiliza radar para analizar la costa en la cual quisiéramos determinar el nivel de erosión. Requiere flujos de trabajo pa-

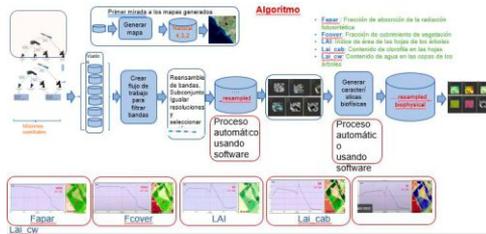


Ilustración 14. Algoritmo para el análisis de las variables bio físicas

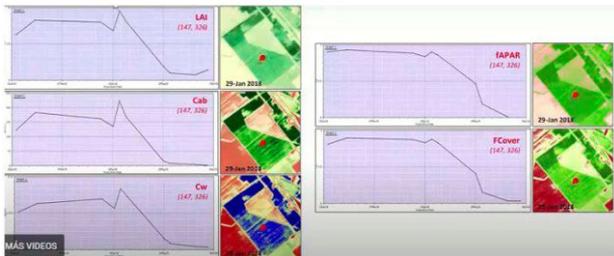


Ilustración 15. Análisis cartesiano de la presencia de las variables bio físicas

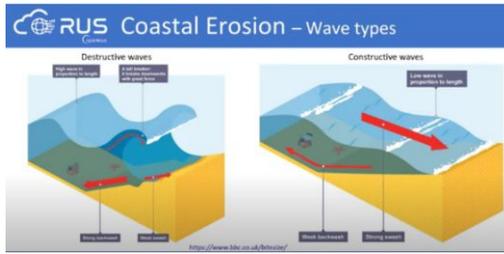


Ilustración 16. Ondas destructivas

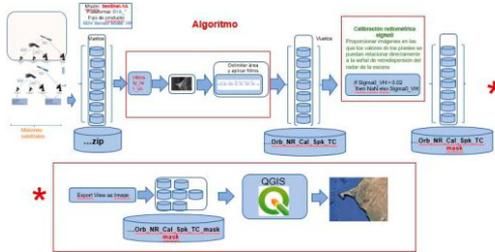


Ilustración 17. Algoritmo para erosiones



Ilustración 18. Líneas de desplazamiento sobre el territorio con Google Earth



Ilustración 19. Líneas de desplazamientos por fechas

ra purificar las imágenes con los “ruidos” naturales que generan la atmósfera y el mismo sensor y la toma de un subconjunto del terreno para facilitar esfuerzos de procesamiento. Un objetivo es detectar el $\text{SIGMA}0$ (Terrascope, 2019) o “La intensidad de la señal de radar re-

flejada desde un objeto geométrico (natural o fabricado). Especifica la fuerza de reflexión (Sentinel Online, 2021d)”. Las diversas imágenes se podrán comparar superponiéndolas para calcular ópticamente los desplazamientos de la costa.

2.9 Deslizamiento de tierras por derrumbes y terrenos debilitados por deforestación con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: tierra de Fagraskógarfjall en Islandia

Las laderas tienen inestabilidades que pueden hacer que la tierra bloquee los ríos y la tierra debido a fenómenos naturales o daños en presas de agua dejando escombros y creando desastres. Los sensores de radar muestran de manera precisa la zona deslizada para mediciones de lo sucedido y mostrando los cambios que se sucedieron con la comparación de las imágenes anteriores. Los interferogramas (Cdn, 2024) permiten encontrar las deformaciones del terreno, limpieza de las franjas y eliminación de ruidos generando imágenes de los

que se llaman fase y coherencia para comparar los cambios del terreno visualmente.

2.10 Sequías por falta de lluvias, con el satélite Sentinel-2. Caso: Ciudad del Cabo Suráfrica

Se debe analizar la cubierta de nubes y las bandas de máscara de agua que son el resultado de la atmósfera y aplicar una corrección atmosférica para determinar la superficie real, valores de reflectancia de la parte superior de la atmósfera eliminando los efectos atmosféricos. Se usa el procesador Sen2Cor que es un procesador para la generación Sentinel-2 Nivel 2A (Sentinel2 online, 2024) y formateo de productos; realiza la corrección atmosférica, del terreno y de cirros

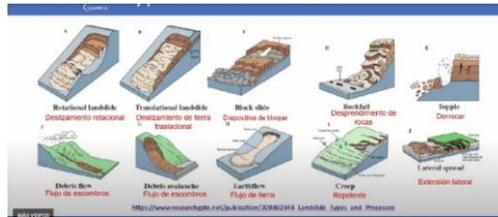


Ilustración 20. Tipos de deslizamientos

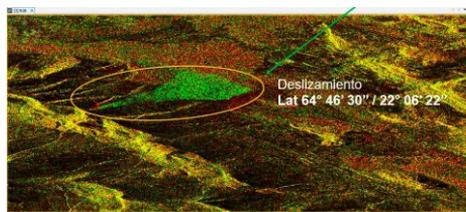


Ilustración 21. Coherencia para determinar zonas afectadas

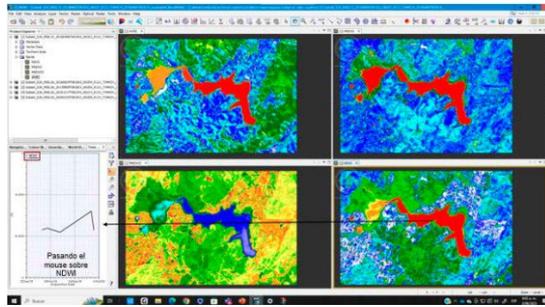


Ilustración 22. Cálculos del NDWI

(nubes) y opcionalmente el terreno e imágenes de reflectancia con corrección de cirro, espesor óptico del aerosol, vapor de agua, escena (nubes y agua), mapas de clasificación e indicadores de calidad de probabilidades de nubosidad y nieve. Se aplican índices radiométricos como: índice de diferencia de agua normalizada ($MNDWI (B8 - B4) / (B8 + B4)$ y $MNDW + 5$), índice de extracción del agua automatizado ($AWEI B2 + 2.5 * B3 - 1.5 * (B8 + B11) - 0.25 * B12$) y el cálculo del $NDWI NDWI (B3 - B8) / (B3 + B8)$ (eos, 2021) para detectar transformaciones del agua de los terrenos.

2.11 Monitoreo de volcanes, creando alertas tempranas de

las erupciones y producción de lava en los territorios cercanos a sitios poblados, con el satélite Sentinel-2. Caso: Volcán Etna en Sicilia

El monitoreo de volcanes es una responsabilidad para determinar alertas tempranas debido a las erupciones y la presencia de lava en las laderas que pueden amenazar a las poblaciones cercanas. Una vez captadas las imágenes y asegurando la no presencia de nubes, es indispensables captar las imágenes de las diferentes erupciones y movimiento de la lava e inclusive la posible medición de sus características geométricas buscando que el color, no solo como datos sino como imagen, muestre lo que está sucediendo en busca de

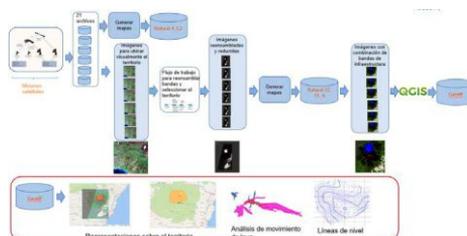


Ilustración 23. Algoritmo para el monitoreo de volcanes

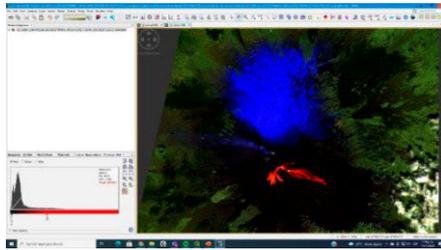


Ilustración 24. Bandas 12,11,4 para mejor visualización



Ilustración 25. Alertas tempranas sobre el territorio

la protección de los pobladores. Este algoritmo llega inclusive a dibujar las curvas de nivel de la montaña.

2.12 Inundaciones con el uso de radar, con el satélite Sentinel-1. Caso: Sur África Occidental

Producto de grandes inviernos o cambios en los suelos, basado en unas enormes inundaciones en Sur África Occidental permitió explicar cómo el uso de radar requiere efectuar procesos previos hasta lograr las imágenes claras y precisas de

las zonas inundadas, también utilizando series de tiempo. Se habló de estos procesos como, por ejemplo, aplicación de datos de órbita, limpieza del “ruido” térmico generado por el receptor, limpieza de moteados, corrección de ángulos de la transmisión debido al movimiento del satélite, cálculo del Sigma0 (Terrascope, 2019). medida convencional de la intensidad de una señal de radar reflejada desde un objeto geométrico.

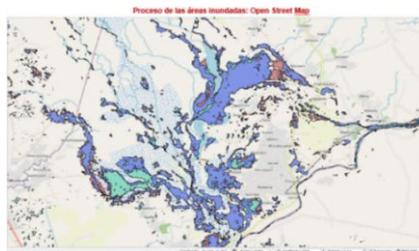


Ilustración 26. Áreas inundadas

Bibliografía

- Acolita. (2019). Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat, recuperado el 12 de noviembre de 2021 de: <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-y-landsat>
- Brockman-cónsul. (2014). Evolution of the c2rcc neural network for sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters, recuperado el 13 de noviembre de 2021 de: https://www.brockmann-consult.de/wp-content/uploads/2017/11/sco1_12brockmann.pdf
- Cdn. (2024). What is an Interferogram, recuperado el 22 de abril de 2024 de: https://cdn.diffractionlimited.com/help/quickfringe/QUICK_FRINGEWhat_is_an_interferogram.htm
- Efecto Doppler. (2024). Efecto Doppler, recuperado el 24 de abril de: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler
- Rus. (2019). AIR QUALITY MONITORING WITH SENTINEL-5p, recuperado el 19 de abril de 2024 de: https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2022/01/ATMO01_AirQuality_Monitoring.pdf
- Saludgeoambiental. (2022), Dióxido de nitrógeno NO₂, recuperado el 19 de abril de 2024 de: <https://www.saludgeoambiental.org/di-oxido-nitrogeno-no2>
- Sentinelonline. (2024). Sentinel Online, recuperado el 24 de abril de 2024 de: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview> 🌐

Futuro del talento en Colombia

DOI: 10.29236/sistemas.n174a5

La Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas –ACIS– convocó a varios profesionales para mostrar el talento colombiano y los avances sobre ciencias satelitales en el país.

Manuel Dávila, director técnico de este número de la revista dio la bienvenida a los asistentes y señaló: “Colombia tiene una deuda con el tema de las ciencias satelitales aplicadas; algunos políticos consideran que solamente los países desarrollados deben abordarlo, mientras que en Argentina –para citar un ejemplo– han avanzado mucho, conscientes de la necesidad de vigilar los territorios del país para controlar sus transformaciones”.

Algunos sectores académicos y estatales vienen trabajando para sacar adelante varios proyectos de los cuales se tiene poco conocimiento, de ahí la importancia de visibilizar una comunidad interesada en tales asuntos, enfatizó Manuel Dávila.

Con el propósito de analizar el tema fueron invitados al encuentro; Alberto Menghini de Copérmicos, Jefe

de Cooperación, Unión Europea; teniente Natalie Buitrago de la Fuerza Aeroespacial Colombia; Eduardo Camargo de Uniminuto y Giovanna Ramírez, expresidenta de Aero Space and Electronic Systems (IEEE).

Alberto Menghini

*Jefe Cooperación Copérnicus
Unión Europea en Colombia*



Además de Copérnicus tenemos otros sistemas de satélites en nuestra oferta como el sistema Galileo y próximamente satélites de comunicaciones. Tenemos un fuerte interés en desarrollar con América Latina y el Caribe el aprovechamiento de los datos de Copérnico. Estamos convencidos de que este sistema se fortalece más en cuanto más lo compartimos, lo utilizamos y lo alimentamos. En los últimos años hemos trabajado para instalar dos centros de Copérnicus, uno ubicado físicamente en Panamá

dedicado sobre todo a aplicaciones, a la reducción de riesgo de desastres y otro centro ubicado en Chile al servicio de toda América Latina y el Caribe. En estos meses estamos buscando formas de crear tales oportunidades en Colombia, en donde encontramos mucho talento y entusiasmo y hemos establecido en redes sociales una comunidad en la que buscamos compartir información. Nuestro deseo es que Copérnico refleje lo que entendemos como transformación digital al servicio de la humanidad, razón para ver cómo maximizamos estos beneficios. En la actualidad trabajamos en la prevención y alerta temprana de incendios forestales. Así mismo, en la prevención de inundaciones; la gestión del recurso hídrico. Quienes vivimos en Bogotá sabemos el impacto del cambio climático. La idea también es fortalecer la capacidad de las instituciones colombianas para aprovechar el trabajo en las previsiones meteorológicas, para anticipar los fenómenos del niño, de la niña. También en el monitoreo de la deforestación, tema ambiental con una relevancia a nivel comercial cada día más importante.

Teniente Nataly Buitrago

*Programa Satelital Espacial
Fuerza Aeroespacial Colombiana*

Gracias doctor Manuel, muy buenas tardes para todos los que están aquí y fuera de Colombia. Como lo dijo el doctor Manuel, actualmente me desempeño en el programa satelital espacial de la fuerza aereo-

pacial colombiana, doctora en ciencia y tecnología espacial de la universidad politécnica de Cataluña. Durante mi experiencia en Europa tuve la oportunidad de participar en un proyecto con la Agencia Aeroespacial Europea, en un satélite que se lanzó el año pasado. En el trabajo de mi tesis tuve la oportunidad de participar en un proyecto que se denomina Zombie satellite y la intención es poder reutilizar satélites que han fallado en órbita y poder proponer estrategias a futuro para mitigar desechos espaciales. Actualmente no es estoy en mi lugar de trabajo estoy revisando mi curso de ascenso a capitán y apoyando las estrategias espaciales de la Fuerza.

Dentro de las iniciativas que ha buscado la Fuerza Aerospacial de integrar la triada, universidad, empresas y Estado, en 2023 surgió la posibilidad de postular un proyecto bajo la sombrilla de la convocatoria de la agencia espacial japonesa y las Naciones Unidas que apoyan este tipo de proyectos. Este proyecto tenía como misión un sensor de clima solar para detección de partículas solares y un sistema de IOT. Fue una iniciativa que se realizó en conjunto, fue un aprendizaje y un esfuerzo en conjunto de iniciativas aeroespaciales, llegamos hasta la etapa de preselección del proyecto. Finalmente, no fuimos seleccionados como proyecto, pero sí una magnífica oportunidad de mostrar esas capacidades como país. Esa semillita que se está

construyendo actualmente se está reestructurando el proyecto y con una posible presentación próximamente.

Giovanna Ramírez



Soy Ingeniera electrónica, piloto de aviación, con maestría en dirección general de proyectos, en 2016 ingresé como civil a la Fuerza Aérea Colombiana y tuve la oportunidad de apoyar proyectos de investigación. En 2019 tuve la oportunidad de aplicar a un programa del Consorcio Global Espacial de UNISEC y este fue el impulso para traer ese conocimiento al país. Estuve en Japón para traer conocimientos importantes para el país. Desde 2019 venimos desarrollando el concurso Cansat Colombia con grupos de investigación en los colegios construyendo estos pequeños dispositivos como satélites de bajo costo. También tuve la oportunidad de viajar a Rusia en la universidad de Sa-

mara, allí participé en la construcción de un satélite y una red de satélites que van alrededor de la ionósfera y apliqué a un programa espacial. Fue una magnífica alternativa para traer ese conocimiento al país. Lo que más me ha gustado es poder compartir estos conocimientos con la universidad, en colegios para motivar a otros el interés por este tipo de proyectos y que aprendan sobre las ciencias satelitales. Soy una apasionada por el tema espacial, uno de mis planes es poder ir al Espacio. Desde hace unos años estoy estudiando el tema de astronáutica. Me he preparado como astronauta análoga haciendo simulaciones en tierra con entrenamientos bajo el agua y psicológicos por el aislamiento en diferentes partes del mundo como en Polonia, en Estados Unidos en la Universidad de Florida y en Colombia las he llevado a los niños.

Eduardo Camargo
Uniminuto



Soy Ingeniero electrónico con una maestría en telecomunicaciones. He venido desarrollando el tema espacial desde el Parque Científico de innovación social de Uniminuto. En el 2019 iniciamos un proyecto para vincular los niños desde el enfoque STEM que trata de la Ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática a través del tema espacial. El primer tema fue CANSAT que permite vincular varias plataformas como programación, trabajo en equipo, física pero lo que más les interesa a los niños es la parte manual de los cohetes. Hemos trabajado en el monitoreo de satélites de órbita baja y telemetría con Cubesat y el tema de las comunicaciones. Estuve en Tokio con Unicef como becario entrenándome en los Cubesat.

Tuve la oportunidad de visitar un par de universidades de América Latina que ya han sido beneficiarios y han podido lanzar sus satélites al Espacio a través del programa que la teniente ha nombrado, en la Universidad de Puebla en México y la universidad del Valle en Guatemala. Hace ya unos años atrás tuvieron una experiencia exitosa al desarrollar, lanzar y regresar sus Satélites.

El tema de educación en la universidad es fundamental y hemos venido desarrollando un modelo Cubesat en el entorno a lo educativo. Lo que más nos interesa es vincular a los niños para abrir la posibilidad que conozcan una nueva forma de

ver la ciencia, la tecnología y las matemáticas pues causan muchas complejidades y mucho rechazo; lo vemos en las universidades pues cada vez tenemos menos muchachos y los niños interesados en cursar la carrera de ingeniería y las ciencias básicas porque no lo ven como un asunto práctico. Queremos hacer es que el Espacio sea una herramienta que les permita llegar a los temas de física y de matemáticas, de ciencias y tecnología para tener un desarrollo más firme en el país frente al futuro.

Alcanzamos a construir un Cubesat de una unidad básica para demostración con sus sensores, con su cámara, con su telemetría y con su esquema de comunicación lo más semejante y más próximo a uno real. Seguimos en la tarea de poder configurar un equipo de trabajo con otras universidades para poder desarrollar uno completo y poder enviarlo al Espacio. Llevamos ya varios años y hemos tenido varias aproximaciones a diferentes situaciones

Jeimy Cano

Gracias por perseguir un sueño que precisamente lleva Giovanna que me parece fantástico, así como el tema de Nataly. Claramente escuchando a Eduardo, en cualquier tecnología se habla desde la posición de habilitar cosas, es decir de promover hacer cosas más interesantes, de recoger imágenes, de lograr comunicaciones y todo eso es posible siempre y cuando haya

una infraestructura que esté detrás conectando cosas. También es importante situar que el Espacio es un elemento de tensión geopolítica, de tipo global lo cual genera precisamente tensiones e inestabilidades que terminan afectando y creando ataques o acciones adversas en sus diferentes componentes como en la estación de tierra, en la estación de rebote de la señal, en el mismo satélite o en la plataforma de comunicaciones es decir de alguna manera cambiando por ejemplo los sistemas de propulsión en un satélite y de hecho ya han habido eventos que se han materializado de toma de control desde tierra de satélite en órbita.

Por eso resulta un elemento fundamental el tema de la seguridad y de la ciber seguridad en esta disciplina como quiera que, si no se tiene en cuenta desde el diseño y desde el inicio puede ser utilizado inclusive con fines adversos como ya, de alguna manera, se ha venido materializando a nivel internacional. Hay un llamado de atención a las diferentes grandes potencias y ya ustedes lo dicen que estamos viendo mucha actividad espacial por parte de los del grupo G7 que son las grandes economías del mundo y las naciones unidas en el Consejo nacional de seguridad sobre el cuidado de colocar más que explotan arriba pues ya con los que tenemos en tierras son suficientes.

Ya ha habido casos en donde se le han cambiado la órbita a algunos

satélites generando también posibles incidentes y choques espaciales y que como bien lo decía en su momento Nataly, el tema de la basura espacial se vuelve un tema súper importante de controlar. Son elementos importantes en las diferentes componentes de la infraestructura que llevan los sistemas satelitales que deben ser asegurados de tal forma de hacerle más difícil la tarea a alguien que quiera ser adverso en estos sistemas.

Manuel Dávila

¿Hasta dónde consideran que debemos llegar en Colombia en la aplicación de estas ciencias teniendo en cuenta su rol?

Natalie Buitrago



Yo creo que sin duda el tema espacial es uno de los sectores más importante y que ha evolucionado en cuanto a tecnología, impacto y a lo que se puede hacer con ese tipo de

información. Sin duda, nuestra posición estratégica también es una de las variables y juega para este sector. Colombia fue aprovechando esos recursos por parte de la fuerza aérea pensando en cómo poder potencializar esos recursos que nos da la posición estratégica y las tecnologías espaciales.

Yo creo que uno de los factores importantes es la conectividad, la comunicación, y las imágenes que nos pueden traer esos datos satelitales y creo que es uno de los objetivos a nivel país para conectar un punto con otro a nivel Colombia, lograr ofrecer Internet y conectividad a diferentes regiones. Las comunicaciones podrán ofrecer imágenes que soporten y den cuenta de lo que se hace a nivel de los recursos naturales en nuestro país y también, porque no, a futuro proyectará a Colombia como una posible potencia a nivel sudamericano en estos temas

Nuestro recorrido ha sido progresivo y aunando a esfuerzos de la academia a través de la capacitación del talento humano en las universidades, en las empresas que se animen a estos sueños de país. A nivel gubernamental se han ido haciendo diferentes esfuerzos, pero también creo que un componente importante es el trabajo colaborativo entre todos.

No solamente es el reto tecnológico sino también a nivel humano, de trabajo en equipo y en pensar en un

objetivo común y de país con esfuerzos financieros y voluntad política que implica una sinergia de esfuerzos, una colaboración entre la triada Universidad, Empresa y Estado. Ya estamos haciendo cosas y se están dando pasos. Es cierto que se requiere de una estrategia de país que no solamente se piense de lo que se hace hoy en día, sino que podamos trascender a futuros años. Que podamos desarrollar más este tipo de iniciativas en el sector Aero espacial. De las universidades se necesitan esas plataformas y lo veíamos en el proyecto KIBOCUBE con los laboratorios para que también se forme ese talento humano joven en esta área. Igualmente debe repercutir en el sector empresarial y del Estado con política pública. Hoy en día se está construyendo a través de la comisión colombiana del Espacio y demás agentes que están impulsando este sector para que no sea solamente una política transitoria, sino que permea a través de todos los de los años y evolucione.

Giovanna Ramírez

Así como mi colega dice, considero que lo más importante es poder sumar esos esfuerzos para llevar hasta lo más lejos que podamos con los pocos recursos que tenemos y llevar a nuestro país en un alto nivel. En este sentido las áreas satelitales benefician no solamente el medio ambiente sino también a toda la parte de seguridad y defensa nacional, a la parte política las telecomunicaciones. Si todo sumamos

y seguimos invirtiendo se puede crear ciencia y se pueden hacer cosas más grandes.

Saltándonos un poco al tema de astronáutica debemos sumar más esfuerzos para mejorar el tema de la educación y generar esas bases para que los niños a futuro puedan decir también que quieren ser astronautas, abriéndoles ese camino para que ellos digan y sientan que pueden estudiar astronáutica y llegar a ser un astronauta.

Se deben crear currículos nuevos en los colegios aplicando la parte investigativa porque ven las matemáticas difíciles y llegar lo más lejos que podamos con lo poco que se tiene. Alguna vez me preguntaban por qué invertimos en hacer un cohete para llegar a Marte donde no hay nada y entonces la respuesta que me gustó era la que decía que la exploración espacial se basa en lograr hacer cosas grandes y la exploración también trae productos hacia la tierra. En Colombia ya empezó esa carrera hace un par de años y estamos creciendo y llegando a otro a otro nivel

Sobre mi interés de ser astronauta en Colombia no tenemos aun formalizada la agencia espacial y eso dificulta aplicar a la NASA pues prefieren apoyar a residentes de Estados Unidos o te ponen ciertos requisitos difíciles para los latinoamericanos. En lo personal, he estado en la formación de astronauta análogo, pero me ha tocado muy

duro, aplicando a becas para financiar los entrenamientos que son demasiado costosos y al no ser parte de una agencia se complican las cosas. No hay que esperar solo a que la Nasa te llame hay que prepararse tomando ese entrenamiento, afirmar tu profesión, tu maestría, tu especialización e ir trabajando en proyectos de investigación, apoyando a otros y enseñando.

Eduardo Camargo

Tengo una gran fe en el desarrollo de software. En las universidades es un potencial muy alto, tenemos alumnos brillantes, pero no cuentan con una motivación concreta para trabajar el tema espacial y sacar adelante el desarrollo de programas. Mientras no tengamos una agencia formal para establecer convenios con entidades como la NASA, ESA o Japón, es prácticamente imposible. Cuando visité México me di cuenta que el primer proyecto que se desarrolló fue para la NASA y surge de un convenio entre la Agencia Espacial Mexicana y NASA. Con relación a los niños se trata de motivar el desarrollo e interés por las ciencias básicas; sin matemáticas, físicas y químicas, no llegamos al Espacio.

Todos se deslumbran por la tecnología, por la máquina, el cohete, pero quienes hemos trabajado un poco el tema, sabemos que detrás de eso hay una riqueza de ciencias básicas inmensa. Son elementos que nos llevan al Espacio, que nos han llevado a la luna y posiblemente

nos lleven a Marte. Lo importante no tanto es la meta, sino el camino. Se trata de una luz que brilla para tratar de atraer a los niños y a los jóvenes hacia los temas de ciencias de tecnología, lo que se conoce como habilidades blandas. Es necesario fomentar el trabajo en equipo, los niños no tienen conciencia al respecto.

Es muy complejo, aquí la sociedad impulsa el trabajo individual, quién saca la mejor nota o tiene el promedio más alto, hecho que me sorprendió pues en Japón, tienen esa mentalidad de equipo, de tribu como dicen allá. Una sola persona no es capaz de desarrollar tantas cosas.

Manuel Dávila



Es necesaria una evangelización. Observo que los directivos, los mismos rectores de las universidades, los directivos en las empresas, la

gente abre los ojos cuando se trata el tema satelital, como si se tratara de una cosa extraña, lejana, imposible.

¿Cuáles son las principales acciones que deberíamos poner en práctica, de acuerdo con los asuntos en que cada uno está involucrado?

Eduardo Camargo

En mi opinión a las aplicaciones la debemos sumar acciones. Indudablemente la bancarización. Es muy importante llevar a quienes no conocen el tema. Por lo general los asuntos del Espacio atraen a los niños, despiertan su imaginación y les producen interés y curiosidad. En la universidad llevamos más de 10 años trabajando la robótica y estamos empezando a ver resultados; chicos graduados en carreras de tecnología, quienes fueron motivados por conocer la robótica. Y es un trabajo a largo plazo. Los seminarios, las ferias, los talleres son muy importantes. El año pasado participamos en un evento sobre astronomía y los niños maravillados por ver la luna a través de un telescopio, reacciones que permiten vislumbrar futuro para el tema espacial en el país. Lo que se debe hacer es convertirlo en una materia o en una carrera. En la Universidad de Antioquia, ya salieron los primeros egresados y en esa dirección se debe enfatizar.

Manuel Dávila

En Uniminuto a través de la robótica se ha llegado a 35 mil niños en

300 colegios, hecho muy esperanzador.

Giovanna Ramírez

Coincido en que es importante generar esa cultura de divulgación, de la enseñanza y de la educación. Así mismo veo prioritario fortalecer las instituciones aeroespaciales, crear la agencia, apoyar a las empresas, a la industria. Se de varias instituciones en el país que no han contado con el suficiente apoyo; se requiere una reforma, establecer políticas encaminadas al desarrollo espacial, en particular infraestructura y tecnología en esa dirección.

Todavía existen vacíos de cara a los asuntos especializados, de ahí las pocas ofertas laborales, la existencia de maestría o doctorados en Colombia. Por tales razones la urgencia de armar más lazos de proyectos internacionales.

Teniente Natalie Buitrago

Tal cual como lo han mencionado los yo creo que es importante esa unión de esfuerzos entre el Estado, la Empresa privada, las Universidades y los colegios para fortalecer las capacidades y de eso nos dimos cuenta en el proyecto KIBO-CUBE con esa variedad de instituciones en las que unos eran especialistas en telecomunicaciones y aportaban desde su conocimiento y de su formación a este proyecto. Otros tenían experiencia en el desarrollo de baterías y de energía que suministra al satélite. Todos esos conocimientos nos ayudaron

a ir formando ese engranaje llamado KIBOCUBE para diseñar un satélite pequeño en el cual se sumaron más de 60 personas.

Eso nos dice algo como país que realmente tenemos talento humano capacitado con ganas e iniciativas. Lastimosamente se nos dificulta un poco trabajar en equipo, pero nos dimos cuenta de que este primer granito de arena nos demostró a todos que es posible generar una propuesta entre todos aunando esas capacidades especiales de cada uno. Este tipo de iniciativas no pueden morir aquí y tenemos que lograr hacer un satélite casi 100 x 100 colombiano. Los comentarios de la agencia espacial japonesa fue que les gustó mucho su estructuración técnica y nos dimos cuenta de que como país somos capaces y tenemos los desarrollos y las personas capacitadas.

Obviamente iremos considerando otras variables como la infraestructura, pero eso tampoco puede ser un impedimento para que no podamos generar ese tipo de iniciativas y que podamos crecer a medida de estas oportunidades que nos ofrecen a nivel país. Algo también importante que quiero mencionar es pensar en país, no solo en mi proyecto sino en Colombia.

Jeimy Cano

Tengo el privilegio de dictar clases en la Escuela Superior de Guerra y dar clase al Curso Caun Sidenar entonces yo creo que hay una re-

flexión de fondo que puede ayudar. Es una idea solamente para conectar esa famosa triada o diferentes actores, que es precisamente reflexionar algo que ustedes tienen en su doctrina que es poner sobre la mesa las preguntas: ¿Qué es el interés nacional? y ¿Qué es el interés estratégico? Cuando ponemos eso sobre la mesa los intereses convergen porque es una reflexión que combina y nos remite automáticamente a tres preguntas ¿quiénes somos, ¿qué queremos y para dónde vamos?

Eso lo tienen claro ustedes dentro de su doctrina, pero precisamente fuera del contexto militar es una reflexión que todavía está pendiente y creo que podría ser una manera precisamente de reconocer el Espacio, bien como un interés nacional o bien como un interés estratégico para que se sumen los diferentes esfuerzos en la triada. Es solamente una idea que creo que bien vale la pena explorar para seguir construyendo eso precisamente que ustedes vienen desarrollando alrededor desde la postura militar pero que si lo sacan de ese dominio creo que podría ayudar precisamente a conectar muchos más intereses a nivel Espacio.

Manuel Dávila S.

En esa dirección surgen interrogantes como quiénes somos, qué queremos y para dónde vamos. Eso lo tienen claro ustedes dentro de su doctrina, pero fuera del contexto militar es una reflexión que to-

davía está pendiente y que vale la pena abordar. ¿Cómo ven la presencia del Estado colombiano en estas iniciativas?

Eduardo Camargo

Lo que he podido percibir durante estos años de trabajar en torno al tema del Espacio, es que el Estado permanece de espaldas al desarrollo de estos asuntos. No ha sido una prioridad a través del tiempo, plasmado en muchos comentarios de distintos dirigentes del país. Es como si las comunicaciones satelitales fueran gratis, como si el país no estuviese invirtiendo una cantidad de millones de dólares año tras año, pagando a los proveedores extranjeros, inclusive por comunicaciones e imágenes. Tenemos que comprarlas a otras partes porque no tenemos cómo. No obstante, ahora con los satélites de la Fuerza Aérea se están realizando cosas interesantes, sin dejar de lado que es evidente un descuido; es un tema huérfano en el país; no hay dolientes que lo estén sacando adelante. Basta citar como ejemplo la Agencia Espacial y la Agencia de Ciberseguridad, temas boicoteados en el Senado, lugar en donde no tuvieron ningún chance, ninguna oportunidad y les dieron una muerte de tercera. Quienes hemos participado de estos temas siempre nos hemos quejado sobre la escasa participación de las universidades colombianas.

No vimos una invitación. Ahora en la fase tres algo se está viendo, pe-

ro cuando existió la posibilidad real de hacerlo no sucedió. Se requiere una visión de la academia, del gobierno y del congreso, son muchos los que deben participar.

Así mismo se requiere una política normativa que cobije la posibilidad de crear grandes proyectos.

Giovanna Ramirez

Las dijo Eduardo, pero hago énfasis en el tema de la baja inversión que se tiene por parte del gobierno para los proyectos y para el área de ciencias que lastimosamente cada año se reduce esa área, Ahora estamos fusionados con la parte de ciber seguridad y defensa, pero si, menos recursos en el área de presupuestos para tecnología.

Eso impide que haya más proyectos o impide que de acceso a crear Satélites. Al hablar de la parte de la infraestructura es importantísima la presencia del gobierno sobre todo cuando se trata de que algo público y no 100% privado.

Sería muy importante que hubiese más articulación de industria y Estado y obviamente pues también con la academia para que hubiera más infraestructura aeroespacial. La falta de regulación política limita la posibilidad de crear grandes proyectos. Esto toma tiempo para hacer reformas y también cierra brecha para crear tecnología o ser eficientes y más rápidos para el desarrollo espacial de Colombia

Nataly Buitrago

El tema espacial tiene dificultades propias del país en cuanto a los aspectos que ya se han mencionado, sin embargo, creo importante y relevante que desde la posición donde estamos cada uno de sus representantes aeroespaciales en la triada academia, industria y Estado, cambien su discurso para hacerlo importante no solamente a nivel institucional sino a nivel de país.

Hacer la reflexión sobre la importancia y el impacto que tienen las tecnologías aeroespaciales hasta en el mismo uso diario para generar algún tipo de solución o de resultado que sea de gran impacto al país. Por ejemplo, involucrar la High School de secundaria y Universidades para ir generando conocimiento desde lo fundamental, desde el nivel básico. Es importante generar esa conciencia y la importancia que tiene para el país el tema espacial, de cómo la tecnología espacial impacta en la vida diaria del colombiano. Necesitamos este tipo de tecnología y generar esa necesidad, esa importancia en ese tipo de tecnología. La Fuerza Espacial está pensando en esto prioritariamente de tal manera que a corto o mediano plazo se está abarcando. Es estratégico fomentar la cooperación internacional en el tema espacial.

Manuel Dávila S.

Y ¿qué podemos señalar sobre la presencia de la academia con base en la experiencia de cada uno?

Teniente Natalie Buitrago

Lo resumiría en una sola palabra y es fundamental. La academia es el aliado estratégico en este tema, o sea, en el sector espacial si no tenemos esa base educativa, esa formación de talento humano, no vamos a poder llegar a producir resultados. Desde las áreas más básicas es relevante generar esa conciencia. Qué bueno sería que en pocos años Colombia sea un referente en esas áreas, a nivel de maestrías y doctorados. Sería un sueño que ese talento no se desperdicie y se pueda potencializar ese conocimiento.

Giovanna Ramírez

Respecto a la academia creo que juega un papel fundamental, es un rol en el que los estudiantes tienen maravillosas ideas, crean proyectos, iniciativas que deben motivar la inversión de la industria y el gobierno, para llevarlo a una nueva escala, a algo real. La infraestructura no debe quedarse atrás, qué bueno sería que los colegios contaran con museos, observatorios al alcance de todos los niños y no para unos pocos. Entonces, sí se necesitan profesionales y muchas veces tienen que formarse afuera en donde es posible que encuentren su mundo laboral.

Yo he tenido la oportunidad de ser docente en la universidad San Buenaventura en la maestría de ingeniería aeroespacial al igual que en la escuela de posgrados de la fuerza aérea con la maestría de seguri-

dad integral. He visto que primero son muy pocas las personas que se postulan porque no tienen el conocimiento de qué es. No hay una formación previa que haga saber qué es un curso de ingeniería espacial que le permita formarse con la maestría, por ejemplo. Un estudiante que viene desde pequeño no tiene conocimiento para decir que quiera cursar una especialización en lo espacial. Del otro lado hay profesionales que tienen que formarse afuera y si encuentran un mundo laboral afuera se fugan los cerebros. Uno ve por ejemplo a Diana Trujillo y Adriana Ocampo que tienen que trabajar afuera y no pueden volver al país por falta oportunidades y de recursos.

Eduardo Camargo

Es urgente definir hacia dónde vamos, qué queremos hacer en lo que respecta al tema espacial y de la educación, tener un camino claro, un camino que permita a los estudiantes ver una opción profesional y una visión laboral interesante en el tema espacial. Y no solamente universidades, también desde los chicos de colegio.

En las universidades observamos que los estudiantes se están alejando cada vez más de las carreras largas de cinco años. Ya no vemos carreras que han pasado a cuatro años. Estamos viendo modelos de universidades en Brasil, con carreras de tres años en ingeniería, muy parecidas a los modelos norteamericano y europeo. Entonces, hay

que empezar a migrar a ese modelo de formación y hacerlo más actual e interesante a los estudiantes, a los niños para que vean eso como una opción real. O sea, ellos quieren hacer cosas múltiples y rápidas.

Tenemos que empezar a enseñarles a los chicos que la ingeniería es un juego muy interesante, que es un elemento práctico, de creación y a los niños les encanta crear. Basta suministrarles materiales como plastilina, crayolas, papeles para que hagan cosas increíbles. Si se les dan herramientas más sofisticadas con seguridad las van a aprovechar y se encaminarán hacia la línea de las ciencias, la ingeniería. Lo importante es disponer de una ruta, de unas políticas de Estado que no se vean afectadas cada cuatro años con el cambio de gobernantes.

Conclusiones

Natalie Buitrago

Yo creo que esto es un espacio que integra precisamente esas ideas y experiencias desde el punto de vista de cada uno en pro de un objetivo común y creo que estos espacios son importantes precisamente para sacar esas ideas y convertirlas en acciones.

Pienso que de cada uno tomamos una tarea, una responsabilidad para que desde nuestro nivel podamos trabajar, tomando esas ideas que de pronto no se habían consi-

derado en su momento. Yo tomé nota de varias ideas que compartieron los panelistas para llevarlas desde mi nivel y trabajarlas para poder potenciar el sector espacial. Ha sido una muy buena actividad y espero que se puedan replicar en otros momentos para no solamente mirar qué es lo que se está haciendo sino si realmente hay una evolución desde lo último que se hizo y así poder ir haciendo país

Giovanna Ramirez

Que podamos continuar aportando al desarrollo espacial de Colombia. A veces esperamos a que todo cambie, que todo se dé para avanzar. Desde nuestra área podemos empezar a cambiar a Colombia, no podemos esperar que Colombia cambie para que nosotros avancemos.

Debemos seguir motivando a los niños y a los jóvenes y futuras generaciones apoyando también a las mujeres en ciencias.

Eduardo Camargo

Este espacio que permite intercambiar ideas, conocer posturas y formas de ver la temática del Espacio, que es tan amplia, desde otras aristas. El tema es muy extenso y tiene mucho para aportarle al país. Considero que cada uno desde su pequeño o gran esfuerzo si se está haciendo algo por cambiar y sacar adelante el desarrollo del tema espacial en Colombia. Invitar a los niños es algo que tenemos que tener en la agenda de to-

dos, tener contacto con ellos, llevarles sus temas, invitarlos a hacer prácticas, hacer talleres tan sencillos como unos cohetes de papel pues ellos lo toman como una actividad muy apasionante y no han visto mucha oportunidades.

Jeimy Cano



Muy emocionado escuchándolos porque como me decía un profesor en una universidad de Estados Unidos o Europa, hay dos tipos de personas en el mundo, aquellos que ven pasar las cosas y otros que hacen que las cosas pasen. Creo que acá hay gente que está haciendo que las cosas pasen y eso es una cosa importantísima.

El espacio es un gancho para soñar, los niños encuentran en el espacio un gancho para soñar y creo que ese es otro elemento, un Driver, también muy importante para poder recalcar.

Estoy convencido que no existen pérdidas de cerebros sino de corazones y finalmente como decía, en el espacio no hay nada desconocido sino cosas temporalmente ocultas y ese es el gran reto: ir conociendo, explorando como dicen, la última frontera del ser humano que es el Espacio Esa frontera está abierta para que sigamos avanzando y explorando claramente manteniendo en perspectiva todo el aseguramiento de todos los componentes que están allí porque sin eso cualquier cosa puede ocurrir y no vamos a poder traducir esa promesa en que la humanidad use el espacio para cosas que sean beneficiosas para todo el género humano.

Muchísimas gracias por participar y darnos a conocer esas iniciativas,

esos retos, esas emociones que produce cuando a uno le apasiona el tema del espacio muchas gracias, muchas gracias.

Beatriz Caicedo

Muchísimas gracias. A nosotros nos encanta y disfrutamos estos espacios. Aprendemos escuchando y compartiendo muchas cosas nuevas y claves que transmitimos a través de nuestra revista para el conocimiento de toda nuestra comunidad. Mil gracias a todos por estar aquí no olviden que desde ACIS nuestras puertas están abiertas para lo que necesiten, para lo que quieran que podamos colaborar. Ya saben que somos una comunidad interesante alrededor de todos los temas de ingeniería de sistemas de talento y de tecnología. 🌐

Ciberseguridad en sistemas espaciales

Conceptos, tensiones y retos

DOI: 10.29236/sistemas.n174a6

Resumen

El espacio es la frontera final de la humanidad. Un contexto de oportunidades, riesgos, tensiones y retos que genera diferentes perspectivas y reflexiones entre las naciones. Las misiones espaciales se convierten en los nuevos escenarios de confrontación a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal, donde lo que está en juego, no sólo es el posicionamiento estratégico y geopolítico de los países, sino la construcción de una visión global para la humanidad. En este sentido, este artículo desarrolla los conceptos básicos de las misiones espaciales, las tensiones que se generan y los retos asociados con los riesgos cibernéticos que pueden comprometer el ecosistema de componentes especializados de dichas misiones, con los impactos que se pueden generar tanto para la seguridad nacional de los Estados, como a nivel global en el escenario de las infraestructuras críticas cibernéticas interconectadas con sistemas satelitales.

Palabras clave

Ciberconflicto, ciberseguridad, geopolítica, satélites, sistemas espaciales,

Introducción

El dominio y la carrera espacial se han convertido en una renovada materia de interés de las naciones en la actualidad, comoquiera que es en este escenario, donde ahora se localizan nuevas fuentes de ventajas competitivas y dominios de poder, que tanto empresas como naciones quieren desarrollar para tomar posiciones estratégicas, no sólo para concretar sus promesas de valor, sino para mostrar sus nuevas capacidades de influencia y control más allá de un territorio conocido (WEF & Mckinsey, 2024)

El dominio espacial es un ecosistema complejo donde los sectores público y privado convergen, motivando inversiones y proyectos de frontera, que buscan concretar agendas políticas, económicas y estratégicas que configuren una manera distinta de entender la dinámica de las naciones, y así ubicar nuevas propuestas de productos y servicios que sean de uso global, superando las limitaciones propias de las condiciones naturales del dominio terrestre (Schrogl, 20-20).

Desde la perspectiva de la ciberseguridad, los sistemas espaciales presentan retos únicos. La naturaleza de las misiones, que pueden ser militares, científicas o comerciales, determina el nivel de riesgo y los controles necesarios que se deben aplicar con el fin de disminuir

las amenazas, reducir las vulnerabilidades y limitar los impactos. Un ciberataque exitoso podría tener consecuencias importantes, incluyendo temas como, la pérdida del control del satélite, la alteración de datos y de hardware, la interrupción de servicios críticos, entre otros, que revela la sensibilidad de este dominio y sus implicaciones para la sociedad actual (Falco & Boschetti, 2021).

Así las cosas, en un contexto internacional cada vez más inestable y con tensiones geopolíticas crecientes, el espacio es una arena para la proyección del poder y la disputa entre naciones, en donde la ciberseguridad de los sistemas espaciales se convierte en un elemento clave para la seguridad nacional e internacional. En este sentido, se hace necesario revisar algunos elementos básicos de los sistemas espaciales en clave de ciberseguridad con el fin de entender los desafíos que tanto empresas como naciones van a enfrentar de cara a la acelerada carrera tecnológica que supone explorar y explotar el espacio (Livingstone & Lewis, 2016).

En consecuencia, este artículo hace una breve revisión de los elementos básicos de los sistemas espaciales, cómo se configura y articula este ecosistema tecnológico alrededor de la dinámica de las misiones espaciales, con un énfasis

particular en las consideraciones de seguridad nacional y la ciberseguridad que se requiere para hacer más resistentes estas infraestructuras críticas de las empresas y las naciones que circundan la órbita terrestre, y que en el futuro, podrán operar desde otros planetas.

Fundamentos de los sistemas espaciales

Los sistemas espaciales son complejos y requieren un enfoque holístico para abordar no sólo los retos asociados a la seguridad, la gestión de riesgos, la arquitectura y el entorno orbital, sino para comprender la dinámica de su funcionamiento como sistemas altamente integrados y acoplados. En este sentido, a colaboración y la innovación son fundamentales para asegurar operaciones seguras y sostenibles en el espacio, con el fin de lograr misiones exitosas y alcanzar nuevos horizontes y alcances en la exploración de este nuevo dominio (Gerstein et al., 2016).

Un sistema espacial se puede definir como una red de componentes interconectados (de tecnología espacial y terrestre) que operan conjuntamente para llevar a cabo una misión específica, con cada segmento y componente desempeñando roles vitales, entre otros, comunicación, navegación, observación terrestre y seguridad nacional.

A continuación, se detallan los diferentes elementos de los sistemas espaciales: (Oakley, 2024)

- Segmento espacial:
 - Incluye los satélites y otros vehículos espaciales en órbita, los cuales son el núcleo de cualquier sistema espacial. Los satélites pueden ser de diferentes tipos según su misión, desde satélites de comunicaciones hasta observatorios científicos o incluso con labores militares (inteligencia y espionaje).
- Segmento terrestre:
 - Comprende la infraestructura en tierra necesaria para controlar los satélites y procesar los datos. Esto incluye estaciones terrestres, centros de control de misión, redes de comunicación y centros de procesamiento de datos.
- Segmento de enlace:
 - Son los enlaces de comunicación entre el segmento espacial y el segmento terrestre, y entre los diferentes componentes del sistema espacial. La seguridad y confiabilidad de estos enlaces es vital para articular las operaciones espaciales.
- Segmento de usuario:
 - Son los profesionales y sus equipos que utilizan los servicios proporcionados por el sistema espacial. Esto incluye receptores GPS (*Global Position System*), terminales de comunicación por satélite y sistemas de análisis de datos.
- Segmento de interoperabilidad:
 - Es la integración de todos los segmentos del sistema espacial y sus componentes para que funcionen de manera armónica

en las relaciones interdependientes que se tienen entre ellos.

Desde el punto de vista geopolítico los sistemas espaciales se encuentran en un entorno de competencia y cooperación internacional, donde la soberanía espacial y la seguridad nacional juegan un papel fundamental. Las tensiones geopolíticas y los conflictos internacionales pueden crear escenarios inciertos con un impacto directo en la disponibilidad y seguridad de los sistemas espaciales. La dependencia de componentes o tecnologías extranjeras puede generar vulnerabilidades estratégicas y dificultar la autonomía de los países en el espacio, particularmente de las potencias globales (Flanagan et al., 2023)

De otra parte, la creciente dependencia de los sistemas espaciales en sus roles vitales previamente comentados, los convierte en objetivos atractivos para ciberataques. Estos ataques pueden comprometer los principios de la seguridad de la información, así como el control de los satélites, con consecuencias potencialmente inesperadas por posibles efectos dominó que inicien en el espacio y lleguen a la tierra, o viceversa. La protección contra estas amenazas requiere la implementación de sistemas de seguridad en todos los segmentos, desde los satélites en órbita hasta las estaciones terrestres y los enlaces de comunicación (Falco et al., 2024)

El desafío de la ciberseguridad en los sistemas espaciales

La ciberseguridad se ha convertido en un desafío primordial para los sistemas espaciales, representando un riesgo significativo tanto para las operaciones como para la viabilidad a largo plazo tanto de las empresas como de las naciones.

Por tanto, comprender la alta interdependencia e interconexión de estos sistemas, implica entender que no son inmunes a las ciberamenazas, a las operaciones cibernéticas ni a las agendas militares de países desarrollados, sino que, por el contrario, su creciente digitalización y dependencia de las redes los hacen particularmente vulnerables y expuestos a diferentes estrategias y ataques especializados (Ear et al., 2024).

Para un director de misión espacial, la ciberseguridad representa un desafío crítico que debe abordarse de manera integral. Los cinco retos más importantes desde la perspectiva de la ciberseguridad incluyen la protección de los componentes básicos (control de altitud, sistemas de propulsión, sistemas de comunicaciones), la gestión de la cadena de suministro, la defensa cibernética, la integridad de los datos, y la capacidad resiliente del sistema ante incidentes (Manulis et al., 2021)

A continuación, se presenta un resumen de cada uno de estos retos con sus posibles controles:

Tabla 1. Retos claves de la ciberseguridad en los sistemas espaciales

Retos de ciberseguridad	Riesgos	Posibles controles
Protección de Componentes básicos	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de control del satélite, • Interrupción de servicios • Fallas en operaciones • Manipulación de sistemas de propulsión, altitud o comunicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Controles de acceso • Cifrado • Verificación de integridad de sistemas • Segmentación y aislamiento de componentes • Pruebas en entornos simulados
Gestión de la Cadena de Suministro	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de código malicioso • Alteración de software • Compromiso de componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación y validación de componentes • Evaluación y diversificación de proveedores
Defensa cibernética	<ul style="list-style-type: none"> • Malware • Ransomware • Ataques DDoS • Manipulación de datos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de detección y prevención de intrusiones • Análisis de vulnerabilidades • Planes de respuesta a incidentes • Inteligencia de amenazas
Integridad de los Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de datos • Errores en operaciones • Pérdida de información crítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Autenticación, • Integridad de datos • Funciones hash • Firmas digitales • Canales confiables y cifrados • Protocolo de gestión de datos
Capacidad resiliente	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupción de la misión • Pérdida de datos • Incapacidad de recuperación • Pérdida de activo espacial 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas de redundancia • Planes de recuperación • Copias de seguridad • Capacitación del personal • Simulaciones • Centro de operaciones de ciberseguridad

Nota: Basado en: Kaczmarek, 2024; Livingstone & Lewis, 2016; Hodgson et al, 2024

Abordar los desafíos de ciberseguridad en el contexto actual en un dominio espacial marcado por tensiones geopolíticas y amenazas cibernéticas emergentes, requiere una estrategia proactiva y adaptable, así como una comprensión en detalle de los riesgos y sus posibles implicaciones a nivel empresarial y nacional. En razón con lo anterior, un director de misión debe estar articulado desde su conceptualización y puesta en operación con diferentes marcos y estándares de trabajo en ciberseguridad, con el fin de asegurar su entorno de opera-

ciones frente a la materialización de un riesgo cibernético en su ecosistema tecnológico convergente (Gerstein et al., 2016).

En razón con lo anterior, para los sistemas espaciales se cuenta con varios marcos y estándares que buscan proporcionar una guía para la implementación de prácticas seguras en el diseño, desarrollo y operación de estos sistemas. Una breve lista se presenta a continuación: (Hodgson et al., 2024; Falco et al., 2024)

- NIST SP 800-53: *Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations*.
- NIST SP 800-37: *Risk Management Framework for Information Systems and Organizations*.
- *NIST Cybersecurity Framework*
- NIST IR 8270: *Introduction to Cybersecurity for Commercial Satellite Operations*.
- NIST IR 8323: *Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Services*.
- NIST IR 8401: *Satellite Ground Segment: Applying the Cybersecurity Framework to Satellite Command and Control*.
- NIST IR 8441: *Cybersecurity Framework Profile for Hybrid Satellite Networks (HSN)*.
- CMMC (*Cybersecurity Maturity Model Certification*)
- *IEEE Standard for Space System Cybersecurity*: Este estándar propone una especificación centrada en la seguridad y basada en componentes para el desarrollo de futuras misiones espaciales. Busca asegurar que las misiones espaciales estén diseñadas con resiliencia inherente contra amenazas cibernéticas, priorizando un enfoque fundacional de seguridad y haciendo referencia a trabajos existentes de otros organismos.
- *IT-Grundschatz Profile for Space Infrastructures*: Este perfil, desarrollado por la Oficina Federal Alemana para la Seguridad de la Información (BSI), ofrece una plantilla para conceptos de seguridad relacionados con el espacio. Enfatiza perfiles de seguridad específicos de la empresa basados en requisitos mínimos de seguridad, adaptables a necesidades únicas de la misión.
- *Cybersecurity Guidelines for Commercial Space Systems*: Desarrolladas por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI), estas directrices fomentan medidas voluntarias de ciberseguridad en el sector espacial comercial. Las directrices incluyen riesgos de seguridad, medidas básicas y referencias para obtener más orientación.
- *SPARTA (Space Attack Research and Tactic Analysis) Framework*: Es una base de conocimiento de la *Aerospace Corporation* que proporciona información no clasificada a los profesionales del espacio sobre cómo las naves espaciales pueden verse comprometidas por medios cibernéticos. La matriz define y categoriza las actividades comúnmente identificadas que

contribuyen a comprometer las naves espaciales.

- *CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems)*: Aunque no se menciona específicamente como un marco, se hace referencia a los algoritmos criptográficos de CCSDS.

Los sistemas espaciales: seguridad nacional en clave del riesgo cibernético

El espacio se ha convertido en un escenario de tensiones geopolíticas internacionales. Las grandes potencias han identificado en los sistemas espaciales posibilidades concretas para continuar expandiendo su influencia, presencia y dominio en el contexto global (Tretter, 2025). Diferentes misiones se han concretado durante los últimos cinco años donde cada uno de los países del G7 (Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido y Estados Unidos) han avanzado en su posicionamiento geoespacial bien con satélites de diferentes tipos, o misiones científicas generalmente situadas en la estación espacial internacional.

Cada una de estas naciones encuentra en el espacio una forma de mostrar su capacidad de inversión, investigación y proyección, que más allá de su liderazgo económico, revela una presencia internacional que sugiere avances y progresos que definen los jugadores principales en esta área. En este sentido, los intereses nacionales a

menudo compiten con la necesidad de cooperación, lo que dificulta el establecimiento de acuerdos multilaterales efectivos. La competencia entre grandes potencias espaciales también se extiende a la conquista de mercados y el desarrollo de nuevas tecnologías, creando un entorno dinámico y desafiante donde la soberanía espacial y la seguridad nacional juegan un papel determinante (Livingstone & Lewis, 2016).

En este sentido, las tensiones geopolíticas y los conflictos internacionales pueden tener un impacto directo en la disponibilidad y seguridad de los sistemas espaciales. De igual forma, la dependencia de componentes o tecnologías extranjeras puede generar vulnerabilidades estratégicas y dificultar la autonomía de los países en el espacio. Por ejemplo, el uso de componentes de Estados Unidos puede estar sujeto a regulaciones de exportación que impiden su uso en algunos sistemas espaciales, creando condiciones asimétricas de competencia que exacerban los inciertos internacionales (Falco & Boschetti, 2021).

Así las cosas, lo anterior genera mayores tensiones por el control del espacio y sus oportunidades, motivando a actores maliciosos, incluyendo estados-nación, grupos terroristas, organizaciones criminales o individuos, para robar propiedad intelectual, información sensible, o simplemente causar da-

ño, aprovechando las vulnerabilidades en la infraestructura espacial, para mantener un conflicto de baja intensidad que busca debilitar al adversario, obtener información, interrumpir operaciones, influir en la opinión pública, sabotear infraestructura crítica, que termina comprometiendo los intereses nacionales y estratégicos de los países debilitando los fundamentos de su seguridad nacional (Hamill-Stewart, 2025).

La carrera espacial implica la participación de múltiples actores y proveedores para lograr articular de la mejor forma las misiones al espacio. En consecuencia, la complejidad de la cadena de suministro refleja no sólo la necesidad de cooperación y colaboración para el logro de los objetivos trazados, sino el punto de mayor vulnerabilidad en para concretar la independencia tecnológica en los temas espaciales (Kaczmarek, 2024).

La interconexión global de proveedores y fabricantes introduce múltiples puntos de vulnerabilidad que pueden ser explotados por adversarios. La diversidad de partes interesadas en la cadena de suministro, incluyendo formuladores de políticas, especialistas en adquisiciones, tecnólogos y expertos en seguridad, complica aún más la situación. La seguridad de los sistemas espaciales también se ve afectada por la dependencia en componentes producidos por proveedores con limitaciones financieras o con

vínculos en países que representan riesgos para la seguridad nacional. La integración de inteligencia artificial (IA) en la iniciativa espacial, aunque esencial para el éxito y la confiabilidad de las operaciones, introduce riesgos adicionales como comportamientos maliciosos de la IA, problemas de integridad de datos y la explotación de sistemas de IA para control o sabotaje no autorizados (Kaczmarek, 2024; Ear et al., 2023).

Conclusiones

Al inicio de la exploración espacial los sistemas utilizados estaban aislados de las redes y conexiones. Funcionaban en un dominio cerrado y con controladores específicos, donde se conocía no sólo la infraestructura, sino a las personas que tenían los accesos para operarlos. Sin embargo, a medida que la tecnología avanzaba, la necesidad de interconectar los sistemas espaciales con las redes terrestres para mejorar la eficiencia operativa y la recopilación de datos llevó a una expansión significativa de la superficie de ataque. Esta transición marcó el inicio de la era de la ciberseguridad espacial, donde las vulnerabilidades y las amenazas cibernéticas se convierten en una preocupación clave (Schrogl, 2020).

Dentro de los riesgos críticos que se tienen para las misiones espaciales se detallan los siguientes, los cuales revelan la sensibilidad del tema, no sólo para industria espa-

cial, sino para los retos y propósitos de la seguridad nacional: (Falco & Boschetti, 2021)

- **Robo y Corrupción de Datos:** Los ataques cibernéticos pueden resultar en el robo de datos confidenciales, como datos de investigación o información de inteligencia, o la corrupción de datos críticos, comprometiendo la integridad de la misión.
- **Interrupción de Operaciones:** Los ataques de denegación de servicio y otros ataques cibernéticos pueden interrumpir las operaciones de los sistemas espaciales, causando retrasos, pérdida de ingresos y daño a la reputación.
- **Secuestro de activos espaciales:** Los atacantes pueden tomar el control de satélites y otros vehículos espaciales, comprometiéndolos su funcionalidad, alterando su trayectoria o incluso utilizándolos con fines maliciosos o armas cinéticas.
- **Conflicto cibernético en el Espacio:** Los satélites y la infraestructura espacial son objetivos potenciales en conflictos cibernéticos, lo que podría tener consecuencias devastadoras para las comunicaciones, la navegación y la seguridad nacional.
- **Ataques a la Investigación Científica:** Los ciberataques pueden afectar las actividades de inves-

tigación y la integridad de los datos científicos, obstaculizando la cooperación internacional en la exploración espacial.

En línea con lo anterior, y dado que, la naturaleza global de la industria espacial demanda una colaboración estrecha entre agencias espaciales, gobiernos, el sector privado y organizaciones internacionales, el intercambio de información sobre amenazas y vulnerabilidades, se convierte en un elemento y práctica fundamental para asegurar el buen desarrollo de las misiones, no sólo para mantener la integridad de las comunicaciones y el aseguramiento de los instrumentos de operación de las naves, sino para consolidar una postura de defensa cibernética espacial que permita anticipar distintas acciones adversas sobre activos espaciales sensibles y los planes estratégicos de las naciones (Oakley, 2024).

Por tanto, la ciberseguridad en las misiones espaciales es un campo en constante evolución que requiere atención permanente y una inversión significativa. Al abordar los retos actuales e implementar las acciones y alianzas adecuadas a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal, la industria espacial puede proteger sus activos, asegurar la continuidad y resiliencia de sus operaciones y así, fomentar la innovación en un entorno cada vez más inestable y con tensiones geopolíticas crecientes. Esto exige de los Estados,

priorizar la ciberseguridad como un imperativo estratégico para el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de la misión: posicionar el espacio como fuente de oportunidades y ventajas competitivas para los países (Flanagan et al., 2023).

El espacio es un recurso finito y valioso que debe ser gestionado con cuidado y responsabilidad, como un ejercicio de exploración conjunta para retar y superar las fronteras del conocimiento, y deponer las diferencias basadas en control y poder. Al asegurar el espacio como un bien común (Jah, 2024), es posible encontrar nuevas oportunidades para la investigación científica, la innovación tecnológica y el desarrollo económico, mejorando la vida de todos en el planeta. Ignorar estos desafíos multidimensionales que se tienen, y particularmente lo relativo al riesgo cibernético, y no actuar ahora, puede poner en riesgo el futuro de la exploración espacial y los beneficios potenciales para la humanidad.

Referencias

Ear, E., Remy, J. L. C., Feffer, A. & Xu, S. (2023). Characterizing cyber attacks against space systems with missing data: Framework and case study. *2023 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)*. <https://doi.org/10.1109/CNS59707.2023.10289045>

Falco, G. & Boschetti, N. (2021). A security risk taxonomy for commercial space missions. *ASCEND 2021*. <https://doi.org/10.2514/6.2021-4241>

Falco, G., Boschetti, N., Viswanathan, A., Bailey, B., Maple, C., Kurt, G. K., Willbold, J., Slay, J., Birrane, E., Logsdon, D., Bennett, S., Ferguson, W., Curbo, J., Oakley, J., Schloegel, M., Hagen, S., Sigholm, J., Mehlman, C., Thummala, R., ... Yahia, O. B. (2024). Minimum requirements for space system cybersecurity - ensuring cyber access to space. *2024 IEEE 10th International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology (SMC-IT)*, 78–88. <https://doi.org/10.1109/SMC-IT61443.2024.00016>

Flanagan, S., Martin, N., Blanc, A. & Beauchamp-Mustafaga, N. (2023). A Framework of Deterrence in Space Operations. Research Report. *RAND Corporation*. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA820-1.html

Gerstein, D., Kallimani, J., Mayer, L., Meshkat, L., Osburg, J., Davis, P., Cignarella, B. & Grammich, C. (2016). Developing a Risk Assessment Methodology for the National Aeronautics and Space Administration. *RAND Corporation*. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1537.html

Hamill-Stewart, J. (2025). The Sendai Framework and satellite security. *International Journal of Disaster Risk Science*. <https://doi.org/10.1007/s13753-025-00614-9>

Hodgson, Q., Warren, K., Brosmer, J., Alhajar, E., Fujiwara, J., Grossfeld, E., Hartunian, A., Kim, Y., Lee, M., López III, E., Rodgers, M., Van Abel, K. & Johnson, R. (2024). Enhancing Space Mission Assurance to Cyber Threats: Findings and Recommendations for the U.S. Space Force. *RAND Corporation*. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2319-1.html

- Jah, M. (2024). The Tragedy of the Commons in Orbital Space: Toward a Circular Economy. *Amplify*. 37(2). 36-43.
<https://www.cutter.com/article/tragedy-commons-orbital-space-toward-circular-economy>
- Kaczmarek, S. (2024). Cybersecurity challenges in space exploration. *Amplify*. 37(2). 26-35.
<https://www.cutter.com/article/cybersecurity-challenges-space-exploration>
- Livingstone, D. & Lewis, P. (2016). Space, the Final Frontier for Cybersecurity? *Chatham House*. Research Paper.
<https://www.chathamhouse.org/2016/09/space-final-frontier-cybersecurity>
- Manulis, M., Bridges, C. P., Harrison, R., Sekar, V. & Davis, A. (2021). Cyber security in New Space: Analysis of threats, key enabling technologies and challenges. *International Journal of Information Security*, 20(3), 287–311.
<https://doi.org/10.1007/s10207-020-00503-w>
- Oakley, J. G. (2024). *Cybersecurity for space: A guide to foundations and challenges*. Apress.
- Schrogl, K.-U. (Ed.). (2020). *Handbook of space security: Policies, applications and programs*. Springer International Publishing.
- Tretter, C. (2025). Exploring Factors for U.S.-Russia Crisis Stability in Space. *RAND Corporation*.
https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2313-3.html
- WEF-World Economic Forum & Mckinsey (2024). Space: The \$1.8 Trillion Opportunity for Global Economic Growth. *Insight Report*.
<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-1-point-8-trillion-dollar-opportunity-for-global-economic-growth>

Jeimy J. Cano M., Ph.D, CFE, CICA. Ingeniero y Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes. Especialista en Derecho Disciplinario, Universidad Externado de Colombia; Ph.D en Business Administration, Newport University, CA. USA. y Ph.D en Educación, Universidad Santo Tomás. Profesional certificado como Certified Fraud Examiner (CFE), por la Association of Certified Fraud Examiners y Certified Internal Control Auditor (CICA) por The Institute of Internal Controls. Profesor Distinguido de la Facultad de Derecho, Universidad de los Andes. Es director de la Revista SISTEMAS de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas –ACIS–.

Introducción a las limitaciones actuales en la predicción de propagación de órbitas de satélites

DOI: 10.29236/sistemas.n174a7

Resumen

Con la constante expansión de constelaciones de satélites en órbita y la facilidad de adquisición de nanosatélites para empresas privadas, hay un constante incremento en la seguridad espacial. Habiendo miles de satélites, y otros objetos en órbita, sería de esperar que se haya establecido cierto proceso para predecir la posición y velocidad. No obstante, este proceso carece de la precisión debida. La predicción de la posición y velocidad de los satélites en órbita no es tan precisa como uno esperaría, lo que conlleva un gran riesgo para la operación y el éxito de las misiones. Esto es debido a que es clave tener un conocimiento certero de donde estará el satélite en un futuro para poder predecir posibles colisiones y crear maniobras de mitigación de riesgo de colisión. Este artículo explora brevemente las limitaciones de los modelos aerodinámicos que se usan actualmente para propagar y predecir la evolución de la órbita de un satélite.

Desde las limitaciones de los conocimientos en la forma de modelar la atmósfera hasta la incertidumbre inicial del estado del satélite para la simulación. El objetivo principal del artículo es ilustrar al lector de todo el rango de limitaciones actuales y posibles mejoras en los modelos para reducir el riesgo de colisiones entre satélites.

Palabras claves

Satélites, Modelo Aerodinámico, Atmósfera, Errores, Predicción

Luis Miguel Peña Arambarri

Introducción

Antes de profundizar en los aspectos técnicos del artículo, es fundamental introducir ciertos conceptos básicos para una comprensión más fácil. Se asume que el lector tiene conocimientos básicos de física. Uno de los aspectos esenciales es la descripción de la órbita de un sa-

télite, la cual puede representarse mediante las ecuaciones de movimiento derivadas de la segunda ley de Newton. En estas ecuaciones, se incluyen múltiples perturbaciones que contribuyen a la pérdida de altitud del satélite. La forma más limitada de expresar susodicha órbita es con la siguiente ecuación:

$$\frac{dr}{dt} = v$$

$$\frac{dv}{dt} = a = - \left(\frac{\mu}{r^3} \right) * r + a_{pert}$$

- r = Vector de posición del satélite (m).
- v = Vector de velocidad del satélite (m/s).
- a = Vector de aceleración total (m/s²).
- μ = Parámetro gravitacional del cuerpo central de la Tierra (km³/s²).
- a_{pert} = Aceleraciones perturbadoras

Como se ha explicado previamente, existe un término que tiene en cuenta las perturbaciones orbitales afuera de la fuerza gravitacional de la Tierra. Estas perturbaciones orbitales son un fenómeno complejo afectado por distintos factores, co-

mo fuerzas gravitacionales de otros cuerpos celestes, presión de radiación solar, condiciones atmosféricas y fuerzas aerodinámicas. La magnitud de estas perturbaciones depende de la altitud y los parámetros orbitales del satélite. Este artí-

culo se centra específicamente en las fuerzas aerodinámicas ya que en las órbitas llamadas LEO, debido a su nombre en inglés de Low Earth Orbits, las mayores perturbaciones en altitudes de hasta 1000 kilómetros son aerodinámicas. En parti-

cular, la resistencia aerodinámica es la principal causa de perturbaciones en la órbita, aumentando conforme el satélite desciende a regiones más densas de la atmósfera.

$$\mathbf{a}_{aero} = - \left(\frac{1}{2} \right) \frac{(A * \rho * v_{rel}^2)}{m} \mathbf{C}_{aero}$$

- \mathbf{a}_{aero} = Aceleración aerodinámica (m/s²).
- ρ = Densidad atmosférica (kg/m³).
- v_{rel} = Velocidad relativa del satélite respecto al flujo (m/s).
- A = Área de referencia del satélite (m²).
- m = Masa del satélite (kg).
- \mathbf{C}_{aero} = Coeficientes aerodinámicos en el sistema de referencia del satélite

Como se puede observar, hay una variedad de parámetros que afectan como se calculan las perturbaciones aerodinámicas. Sobre algunos de ellos no tenemos mucho control, como por ejemplo la masa del satélite la cual suele ser constante, sobre todo en las etapas finales de la vida útil de los satélites debido a la total consumición de todo el combustible que había en los tanques. No obstante, todos los demás parámetros se pueden modelar de diferentes maneras lo que conlleva a tener un amplio rango de posibles resultados.

Los coeficientes aerodinámicos también se mantienen constantes. Esto introduce un gran número de problemas debido a que los coeficientes están altamente relacionados a la densidad, el área de referencia y la velocidad del satélite. Añadiendo a lo anterior, la velocidad del flujo se basa solamente en la velocidad del satélite en ese punto de la órbita. Finalmente, la densidad se calcula usando modelos atmosféricos simplificados que no toman en cuenta un sinnúmero de parámetros que afectan la composición de la atmósfera.

La mayoría de los modelos de propagación orbital actuales simplifican excesivamente estos parámetros para reducir los costos computacionales. Por ejemplo, el área de referencia se mantiene cons-

Ahora que todos los posibles parámetros están tomados en cuenta, procederemos a brevemente analizarlos en más detalle en las siguientes secciones. Se procederá de uno en uno empezando por la

velocidad del satélite relativa al flujo. Una vez se haya explicado este componente procederemos a explicar las limitaciones de los modelos atmosféricos que se usan hoy en día. Cuando los parámetros básicos estén explicados, se podrá indagar en la generación de los coeficientes aerodinámicos. Finalmente intentaremos resumir las limitaciones actuales y las posibles mejoras que se pueden hacer para mejorar las propagaciones de órbita.

Velocidad del flujo

Como se ha introducido anteriormente, la velocidad relativa del satélite con respecto al flujo es clave para poder calcular no solo las perturbaciones aerodinámicas, pero también los coeficientes. Hoy en día se suele calcular la velocidad relativa con respecto al flujo simplemente asumiendo que es la velocidad orbital del satélite en un punto preciso de la órbita. Debido a que la velocidad del satélite se puede calcular desde las ecuaciones de movimiento esto simplifica de una manera significativa los cálculos necesarios. No obstante, hay ciertos parámetros que se pueden tener en cuenta lo cual incrementarían la precisión de los cálculos.

Para mantener el artículo breve, nos enfocaremos en dos aspectos. El primero es la rotación de la atmósfera. La atmósfera rota acorde con la Tierra. No obstante, el satélite no. Esto causa la primera discrepancia entre la velocidad que el

satélite tiene en la órbita y la velocidad relativa al flujo, en este caso las partículas de la atmósfera. El valor de la rotación de la atmósfera está muy bien estudiado y es posible modelarlo de manera muy precisa. Es posible añadir este parámetro a las ecuaciones como una corrección al valor de la velocidad. El efecto de este parámetro puede ser de un 5% en la velocidad relativa al flujo cuando el satélite tiene una altitud de unos 1000 kilómetros.

El siguiente tema para cubrir son los vientos de la termosfera. Los vientos termosféricos afectan los cálculos orbitales de los satélites al modificar su velocidad relativa respecto a la atmósfera y sus propiedades aerodinámicas. Estos vientos fluyen de regiones de alta a baja presión y están influenciados por la actividad solar, con variaciones dominadas por diferencias de temperatura entre el día y la noche, las estaciones y la actividad geomagnética en los polos (Forbes, 2007). Debido a su dependencia de múltiples factores, los modelos de vientos termosféricos son esenciales para mejorar la precisión en las predicciones orbitales.

La medición de estos efectos requiere acelerómetros de alta precisión o técnicas avanzadas de determinación orbital (March, 2020). Misiones como CHAMP y Swarm, junto con instrumentos terrestres como el interferómetro Fabry-Pérot, han proporcionado datos clave

para modelos como el HWM14 (Drob et al., 2015). Este modelo estima vientos horizontales de hasta 500 m/s a 300 km de altitud, lo que puede generar un ángulo de deslizamiento de 3.8° y aumentar el coeficiente de arrastre (C_d) en más de un 5% (Toonen, 2021). Además, estos vientos pueden alterar la fuerza de arrastre en hasta un 10%, lo que refuerza la necesidad de incluir su influencia en los análisis orbitales para garantizar predicciones precisas.

Densidad atmosférica

Una vez exploradas las velocidades satelitales, vamos a explorar las densidades atmosféricas y cómo modelarlas. Los modelos atmosféricos, como el NRLMSISE-00, son fundamentales para predecir con precisión el comportamiento de los satélites a diferentes altitudes, pero presentan varias limitaciones. Para empezar, la actividad geomagnética afecta la disponibilidad de datos, lo que limita aún más la precisión del modelo en momentos de alta actividad geomagnética (Emmert et al., 2021). Otro problema es la dependencia del índice F10.7 como un proxy para el flujo UV solar, lo que puede introducir errores en las estimaciones de densidad. Dado que la densidad atmosférica depende en gran medida de la actividad solar, cualquier inexactitud en este proxy puede afectar los cálculos de arrastre, impactando la predicción de órbitas (Litvin et al., 2000).

Además, aunque los modelos semi-empíricos utilizan técnicas estadísticas para completar vacíos en los datos, estas interpolaciones y extrapolaciones introducen incertidumbre en los cálculos. Por lo tanto, aunque los modelos atmosféricos han evolucionado para volverse más sofisticados, aún requieren validación cuidadosa y una comprensión de sus limitaciones al aplicarlos al análisis de la trayectoria de los satélites. Afortunadamente, estos modelos ya están siendo implementados en casi todos los sistemas hoy en día. No obstante, lo que no está implementado es el análisis de sensibilidad de la densidad. Los modelos semi-empíricos cuentan con la posibilidad de añadir este parámetro en las simulaciones y sería de gran interés debido a que los coeficientes aerodinámicos, según veremos en la siguiente sección, también dependen de la densidad. Por lo tanto, hay dos componentes en la ecuación de las perturbaciones aerodinámicas dependientes de este parámetro, lo que probablemente causaría grandes cambios en las predicciones, especialmente en altitudes más bajas.

Coefficientes aerodinámicos

El último aspecto que cubriremos es el de los coeficientes aerodinámicos. Actualmente, los coeficientes aerodinámicos son generados de una manera muy genérica en la mayoría de los casos. No solo eso,

sino que además se mantienen constantes durante la propagación de los satélites. La generación de coeficientes es un tema muy amplio así que lo reduciremos para poder cubrirlo. Empezaremos por hablar del régimen del fluido en el cual se generan los coeficientes y la importancia de que se utilice el método correcto. También cubriremos el por qué un valor fijo de los coeficientes no es apropiado para ciertos casos.

En los regímenes de fluido existen tres, el régimen de flujo continuo, el de flujo libre y el de transición. Nos enfocaremos en el de flujo libre que es el que experimentan los satélites. En el régimen de flujo molecular libre, las interacciones de los gases están dominadas por colisiones con superficies en lugar de colisiones intermoleculares, lo que lo hace relevante para satélites por encima de los 150 km. Los dos factores clave en las interacciones gas-superficie son el coeficiente de acomodación de energía (αE) y el modelo de reflexión de partículas. Estudios indican que αE varía entre 0.80 y 1.00, predominando la reflexión difusa debido a la adsorción de oxígeno atómico en las superficies (Moe et al., 1998; Pilinski et al., 2010; March, 2020).

Para calcular los coeficientes aerodinámicos, se utilizan tanto simulaciones estocásticas como métodos analíticos. Si bien los modelos analíticos funcionan bien para formas simples, presentan discrepan-

cias de entre 2% y 32% en satélites complejos como CHAMP y GOCE (Hart et al., 2014; March, 2020). A pesar de ciertas limitaciones, en muchos casos se siguen usando modelos analíticos. Es verdad que el modelo analítico reduce el costo computacional debido a que no se usa un programa que genere simulaciones estocásticas pero el incremento en la discrepancia de valores es significativo. Además, se puede alcanzar un punto intermedio. No es necesario generar coeficientes de forma estocástica para todos los valores, se puede generar una base de datos limitada y extrapolar según sea necesario.

El segundo error que se suele cometer a menudo es usar un valor constante para los coeficientes aerodinámicos. En casos en los que el satélite está siendo operado de forma activa, el uso de un valor constante de los coeficientes aerodinámicos es entendible debido a que es probable que el satélite tenga una orientación que se mantenga de forma activa. No obstante, para objetos que están “a la deriva”, el uso de un valor constante no refleja la realidad. En muchos casos, estos satélites, u objetos en órbita, tendrán un estado no estable en el cual estarán rotando. En estos casos el área con respecto al flujo cambia constantemente, por lo que los valores de los coeficientes cambiarán constantemente también.

Es verdad que si la rotación que experimenta el satélite es alta se pue-

de hacer un promedio de los valores en ciertas orientaciones y generar unos coeficientes promedios para usar. No obstante, hoy en día aún se usan valores constantes que, en su mayoría, no representan la realidad.

Reflexiones

Los modelos actuales de propagación orbital presentan simplificaciones excesivas que reducen su precisión, especialmente en la estimación de las fuerzas aerodinámicas en órbitas con altitudes bajas.

Factores como la velocidad relativa del satélite, la densidad atmosférica y los coeficientes aerodinámicos se modelan de manera estática, ignorando efectos clave como la rotación atmosférica, los vientos termosféricos y la variabilidad del arrastre en función de la actitud del satélite. Sin embargo, pequeñas mejoras como la implementación de correcciones a la velocidad del flujo, el uso de modelos de densidad más detallados y la generación de coeficientes aerodinámicos dinámicos pueden hacer que las simulaciones sean mucho más representativas de la realidad sin un gran costo computacional.

Aplicando estas estrategias, se puede obtener una propagación orbital más precisa y confiable, acercándose mejor a las observaciones y optimizando la predicción de trayectorias en el espacio cercano a la Tierra.

Referencias

- Drob, D. P., Emmert, J. T., Meriwether, J. W., Makela, J. J., Doornbos, E., Conde, M., ... & Shepherd, G. G. (2015). *An overview of the Horizontal Wind Model (HWM): Theoretical and observational underpinnings*. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 120(12), 7857-7877.
<https://doi.org/10.1002/2015JA021680>
- Forbes, J. M. (2007). *Dynamics of the upper atmosphere*. *Reviews of Geophysics*, 45(4), Rg4001.
<https://doi.org/10.1029/2006RG000250>
- March, G. (2020). *Satellite drag and its influence on precise orbit determination: A review*. *Advances in Space Research*, 65(1), 351-364.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.09.029>
- Toonen, B. (2021). *Thermospheric winds and their effects on satellite drag in free molecular flow*. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 58(3), 723-734.
<https://doi.org/10.2514/1.A34869>
- Emmert, J. T., Drob, D. P., Picone, J. M., Lean, J. L., & Knowles, S. H. (2021). *NRLMSIS 2.0: A whole-atmosphere empirical model of temperature and neutral species densities*. *Earth and Space Science*, 8(3), e2020EA001321.
<https://doi.org/10.1029/2020EA001321>
- Litvin, A. A., Manson, A. H., Meek, C. E., Hall, C., Nozawa, S., Duboin, M. L., & Haldoupis, C. (2000). *Global empirical model of the neutral temperature and density in the lower thermosphere*. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 62(1), 37-55.
[https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(99\)00107-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(99)00107-1)

Pilinski, M. D., Argrow, B. M., & Palo, S. E. (2010). *Satellite aerodynamic modeling using the energy accommodation coefficient*. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 47(5), 951-957.

cient calculations from orbital measurements of energy accommodation". In: *Journal of spacecraft and rockets* 35.3, pages 266–272. DOI: <https://doi.org/10.2514/2.3350> 

Moe, K., M. M. Moe, and S. D. Wallace (1998). "Improved satellite drag coeffi-

Luis Miguel Peña Arambarri. Graduado de la universidad técnica de Delft (TUD) con un Máster en Ingeniería Aeroespacial con enfoque en "Space flight". Actualmente trabaja como operador de satélites y analista de datos adquiridos en órbita para en Endurosat SA.

Exploración espacial y desarrollo

Oportunidades para Latinoamérica.

DOI: 10.29236/sistemas.n174a8

Oscar Iván Ojeda

I. Introducción

El sector aeroespacial es una industria de gran relevancia económica y tecnológica, con un valor de mercado aproximado de 400 mil millones de dólares en 2024. Como cualquier otro sector industrial, impulsa la innovación, la generación de empleo y el desarrollo tecnológico, facilitando avances que fortalecen otras industrias, como la agricultura, las telecomunicaciones y la salud. Sin embargo, a menudo se le percibe como un ámbito reservado para unas pocas naciones, cuando en realidad su relevancia se extien-

de a países en desarrollo, que pueden beneficiarse de sus aplicaciones y oportunidades económicas. Además, el manejo de activos orbitales y datos espaciales es clave para abordar problemáticas como el control territorial, la gestión de recursos naturales y la seguridad nacional.

II. El Impacto del Sector Aeroespacial en la Vida Cotidiana

Probablemente muchas personas no sean conscientes de cuánto dependen de aplicaciones espaciales

en su vida diaria, pero basta con observar un teléfono móvil para encontrar múltiples tecnologías derivadas del sector aeroespacial.

Muchas tecnologías aeroespaciales han transformado nuestra vida diaria, aunque su impacto a menudo pasa desapercibido. Los sistemas de navegación satelital permiten el funcionamiento de aplicaciones de transporte y logística, optimizando rutas y reduciendo costos operativos. La observación de la Tierra mediante satélites ha revolucionado la agricultura de precisión, posibilitando la gestión eficiente de cultivos mediante el monitoreo en tiempo real de factores como humedad del suelo y estrés hídrico.

En el ámbito de las telecomunicaciones, los satélites garantizan la conectividad global, facilitando desde transacciones bancarias hasta la transmisión de datos en redes de emergencia. Además, la miniaturización y optimización de hardware desarrollado para el espacio han impulsado avances en sensores y materiales, beneficiando dispositivos médicos, equipos de imagenología y la industria de la electrónica de consumo. Estos ejemplos demuestran que el sector aeroespacial no solo impulsa la exploración del cosmos, sino que también genera innovaciones que fortalecen otras industrias y mejoran nuestra calidad de vida.

Más allá del hardware, el verdadero valor de los sistemas aeroespa-

ciales radica en la información que generan en contextos específicos.

La capacidad de recopilar datos del clima, la geolocalización y las condiciones ambientales es esencial para la toma de decisiones en múltiples industrias, desde la gestión de desastres naturales hasta la optimización de infraestructuras urbanas. En este sentido, organismos internacionales como la COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space) han promovido la cooperación global en la utilización de datos espaciales para el beneficio de todos los países.

Para aprovechar estos beneficios, es crucial aprender a manejar estas tecnologías e integrarlas en la economía, la educación y la investigación. La formación de talento especializado en ciencia y tecnología espacial no solo permite el desarrollo de nuevas aplicaciones comerciales y científicas, sino que también fortalece la soberanía tecnológica al reducir la dependencia de servicios externos. Instituciones académicas y programas de formación deben incorporar conocimientos sobre geoespacialidad, telecomunicaciones satelitales y teledetección para preparar a futuras generaciones en el uso estratégico de estas herramientas.

En un mundo donde el acceso a datos espaciales es clave para el control territorial, la seguridad nacional y la gestión de recursos naturales, desarrollar capacidades propias en

la recolección y análisis de información satelital se convierte en una prioridad estratégica para cualquier nación. La colaboración con organismos internacionales y la implementación de políticas educativas orientadas a la capacitación en tecnologías espaciales permitirán a los países en desarrollo integrarse de manera más efectiva en la economía espacial global, asegurando su competitividad y autonomía en esta área fundamental.

III. El Viaje Espacial Tripulado: Más que Ciencia Ficción

Existen áreas en las que la presencia humana en el espacio sigue siendo insustituible. Mientras que los sistemas robóticos han avanzado considerablemente, las capacidades cognitivas, la toma de decisiones en tiempo real y la adaptabilidad de los humanos permiten realizar en horas tareas que a los robots les tomaría meses. Desde el lanzamiento de Yuri Gagarin en 1961 hasta la actualidad, los logros en este campo han sido impresionantes. La llegada a la Luna con las misiones Apolo marcó un hito en la exploración espacial, demostrando la viabilidad del vuelo humano más allá de la órbita terrestre.

Posteriormente, la creación de estaciones espaciales como la MIR y la Estación Espacial Internacional (ISS) ha permitido la investigación en microgravedad, facilitando avances en medicina, biotecnología, desarrollo de nuevos materia-

les y experimentación en vida sostenible en el espacio. Además, la creciente participación del sector privado en la ISS y los planes para futuras estaciones espaciales comerciales abren nuevas oportunidades para la exploración y explotación de recursos en el espacio profundo.

Hoy en día, el sector privado juega un papel clave en la exploración espacial. La NASA ha impulsado este desarrollo a través de su programa de proveedores comerciales, que ha permitido a empresas privadas desarrollar lanzadores comerciales, fabricar componentes avanzados para misiones espaciales y ofrecer vuelos tripulados. Este enfoque ha dinamizado el ecosistema aeroespacial y ha fomentado avances tecnológicos significativos en la industria privada, reduciendo costos y aumentando la accesibilidad al espacio. Gracias a estas innovaciones, países e instituciones que antes no tenían capacidades espaciales ahora pueden acceder a infraestructura y servicios sin necesidad de desarrollarlos desde cero. Sin embargo, esta apertura también plantea la necesidad de estrategias para proteger la soberanía tecnológica y garantizar que el acceso a estos recursos no genere nuevas dependencias, sino que fortalezca la autonomía y el desarrollo de capacidades locales en el sector espacial.

A pesar de los avances globales en exploración espacial, Latinoaméri-

ca sigue estando en gran medida desconectada de esta dinámica. La falta de información y divulgación científica ha contribuido a la percepción de que estos desarrollos pertenecen exclusivamente a las potencias espaciales, cuando en realidad sus implicaciones son relevantes para toda la humanidad.

Temas como el regreso a la Luna, la exploración de Marte, la minería espacial y la defensa planetaria pueden tener un impacto significativo en la región, desde la optimización del uso de recursos naturales hasta el fortalecimiento de la seguridad y la economía. Para aprovechar estas oportunidades, es fundamental fortalecer la cultura científica y espacial, así como generar estrategias que permitan una participación más activa en el desarrollo de tecnologías espaciales y su aplicación en la solución de problemáticas locales.

Se podría pensar que agencias como la NASA o la ESA ya han resuelto todos los desafíos para misiones a Marte, pero la realidad es que aún enfrentan retos significativos. La radiación espacial y la exposición prolongada a microgravedad representan riesgos para la salud de los astronautas, afectando su densidad ósea, masa muscular y sistema inmunológico. Además, la producción de alimentos en el espacio sigue siendo un desafío crítico, requiriendo el desarrollo de sistemas de cultivo sostenibles en entornos cerrados y de baja gravedad. La co-

municación entre Marte y la Tierra también presenta limitaciones debido al retraso en la transmisión de señales, lo que complica la toma de decisiones en tiempo real. Sin embargo, estas dificultades han impulsado innovaciones aplicables en la Tierra, como mejores diagnósticos y tratamientos médicos basados en estudios de adaptación fisiológica, así como técnicas avanzadas de agricultura de precisión para optimizar el uso de agua y nutrientes. Más allá de los beneficios tecnológicos, la exploración espacial también refleja lo mejor del espíritu humano: la colaboración internacional, la resiliencia y la búsqueda del conocimiento. Estos desafíos tienen el potencial de unirnos como especie en la consecución de metas comunes, por lo que es fundamental que Latinoamérica tenga una voz en estos procesos y participe activamente en la expansión del conocimiento y la innovación espacial.

IV. Análogos Espaciales y el Caso de Colombia

Ante los numerosos desafíos y aspectos aún desconocidos en el futuro de la exploración espacial, es fundamental contar con escenarios que permitan probar a menor costo y riesgo diversas tecnologías, metodologías y estrategias operativas. En este contexto, surgen los análogos espaciales, que son entornos en la Tierra que replican en una o más características las condiciones de un ambiente espacial,

permitiendo la evaluación de sistemas de soporte vital, la adaptación fisiológica y psicológica de los astronautas y el desarrollo de protocolos operativos en entornos extremos. Estos lugares incluyen hábitats submarinos, desiertos con condiciones extremas y cámaras de aislamiento prolongado, diseñados para simular distintos aspectos del espacio. Existen misiones análogas de diversas duraciones, algunas de hasta 500 días, organizadas por agencias espaciales como la NASA y la ESA, así como por entidades privadas y centros de investigación, con el fin de ensayar misiones futuras a la Luna, Marte y otros destinos del espacio profundo. Estos experimentos han permitido evaluar tecnologías para exploración extraplanetaria, probar estrategias de cultivo en entornos controlados y analizar los efectos psicológicos del confinamiento, contribuyendo significativamente al desarrollo de la exploración espacial tripulada y a la mitigación de riesgos en misiones de larga duración.

Colombia también ha incursionado en este tipo de iniciativas. La Fundación Cydonia, una organización sin ánimo de lucro, ha desarrollado el Hábitat Análogo de Exploración Espacial Simulada, HAdEES-C, una estación de 178m² ubicada en una zona rural al norte de la ciudad de Bogotá D.C. en Colombia. La Estación está conformada por 5 estructuras habitables que incluyen los dormitorios, una cocina, una es-

clusa, un invernadero con el baño, y un domo principal el cual contiene un laboratorio de ingeniería, otro de geobiología, zona de trabajo, y zona de ejercicio. El hábitat está diseñado para recibir tripulaciones de hasta 7 integrantes, con duraciones estándar de dos semanas.

Buscando simular las condiciones de una estación planetaria en la Luna o Marte, la estación simula restricciones de recursos tales como agua y electricidad, la dieta está restringida a comidas secas, deshidratadas o de larga vida, y las comunicaciones están limitadas en modalidad y ancho de banda. Los tripulantes estarán confinados en el hábitat y podrán realizar actividades extravehiculares haciendo uso de simuladores de traje espacial.

Hasta la fecha, HAdEES-C ha recibido siete tripulaciones, incluyendo participantes internacionales, quienes han desarrollado investigaciones en áreas como psicología, factores humanos, robótica y biotecnología, entre otros campos, contribuyendo así al avance del conocimiento en exploración espacial.

Para países en desarrollo como Colombia, realizar misiones análogas es una estrategia clave para fortalecer sus capacidades espaciales sin incurrir en los altos costos de misiones orbitales. Estas experiencias permiten la preparación de personal altamente capacitado en operaciones espaciales, facilitando

el entrenamiento en protocolos de seguridad, planificación de misiones y resolución de problemas en entornos extremos. Además, estos programas brindan la oportunidad de experimentar con tecnologías de soporte vital, sistemas de generación de energía y procesos de cultivo en condiciones controladas, lo que puede traducirse en avances aplicables a sectores estratégicos como la salud, la agroindustria y la gestión de recursos naturales.

También, participar en estas iniciativas posiciona al país en la esfera internacional, facilitando colaboraciones con agencias espaciales y empresas del sector aeroespacial, lo que abre puertas a acuerdos tecnológicos y comerciales que pueden acelerar el desarrollo de infraestructura y capacidades nacionales.

El desarrollo de capacidades espaciales en Colombia puede generar múltiples beneficios estratégicos y económicos. La implementación de tecnologías espaciales puede facilitar el monitoreo ambiental, la optimización de la gestión agrícola mediante imágenes satelitales y la modernización de los sistemas de telecomunicaciones. Asimismo, la inversión en investigación y desarrollo en el sector aeroespacial puede fortalecer la biotecnología, promoviendo innovaciones en medicina y farmacología basadas en experimentos realizados en microgravedad. Además, la creación de programas educativos y de formación

en disciplinas aeroespaciales contribuirá a la generación de talento altamente capacitado, fortaleciendo la competitividad del país en el ámbito científico y tecnológico.

Finalmente, al integrar estas capacidades en la agenda de desarrollo, Colombia podrá fortalecer su autonomía en el uso de datos espaciales y en la toma de decisiones estratégicas para la seguridad y el manejo de sus recursos naturales.

V. Conclusión

El sector aeroespacial no es un ámbito ajeno a los países en desarrollo; por el contrario, sus avances tecnológicos han demostrado ser impulsores clave de innovación y crecimiento económico. La exploración espacial tripulada sigue siendo un área estratégica con impactos directos en la ciencia, la tecnología y la economía global. Para Latinoamérica, la participación en este sector representa una oportunidad para diversificar su matriz productiva, fortalecer sus capacidades científicas y tecnológicas, y generar nuevas industrias basadas en el conocimiento. Sin embargo, para aprovechar estos beneficios, es imprescindible fomentar la educación en disciplinas STEM, fortalecer la cultura científica y desarrollar políticas que impulsen la integración de la región en la economía espacial.

Además, la exploración espacial y el desarrollo tecnológico asociado

han dado lugar a aplicaciones prácticas en múltiples sectores, desde la salud y la biotecnología hasta la agricultura y la gestión de recursos naturales. Los retos que enfrentamos en la expansión humana al espacio, como la producción sostenible de alimentos, la adaptación fisiológica a ambientes extremos y la optimización de la comunicación en entornos hostiles, tienen correlatos directos en problemáticas terrestres que afectan a países como Colombia. Invertir en capacidades es-

paciales no solo permite generar conocimiento y tecnología de vanguardia, sino que también puede traducirse en mejoras tangibles para la vida cotidiana y en el desarrollo de soluciones innovadoras a desafíos locales y globales. La cuestión ya no es si debemos participar, sino cómo hacerlo de manera estratégica y efectiva para asegurar un futuro en el que Latinoamérica tenga una voz y un rol activo en la exploración y el aprovechamiento del espacio. 🌌

Oscar Iván Ojeda. *Bogotano, Ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de Colombia con Maestría en ingeniería aeroespacial de la Universidad de Purdue, Lafayette, Indiana, cursando una especialización en Cooperación Internacional en la Universidad Externado. Oscar se desempeña como director de la Fundación Cydonia, organización colombiana sin ánimo de lucro que busca promover y desarrollar el campo espacial en Colombia y Latinoamérica. A través del grant de iniciativas espaciales del Space Generation Advisory Council, fue desarrollador líder de la primera estación análoga colombiana, del Simulador de Traje Espacial Cóndor, así como líder del proyecto Participation of Emergent Space Countries – Colombia, del Moon Village Association. Oscar también es miembro de la junta directiva de la Sociedad Nacional Espacial Colombia en la dirección de ciencia e integrante del equipo de la línea aeroespacial de la Dirección de Ciencia del Ministerio de Ciencia, Tecnología, e Innovación de Colombia. Oscar se ha desempeñado como docente en la Universidad de América y la Universidad de Antioquia, y ha sido punto nacional de contacto de Colombia y coordinador regional de Sur América para el Space Generation Advisory Council.*

Satélites colombianos en el espacio

Desde 1957, cuando se lanzó el primer satélite artificial, la humanidad ha avanzado significativamente en la exploración espacial.

DOI: 10.29236/sistemas.n174a9

Resumen

Durante casi 70 años, Colombia se mantuvo al margen de estas tecnologías, limitándose a ser usuaria de servicios como las telecomunicaciones. Este artículo presenta los objetivos, configuraciones y avances de los proyectos satelitales desarrollados en Colombia, desde el picosatélite Libertad 1 de la Universidad Sergio Arboleda, hasta el FACSAT 2 de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. Estos proyectos han generado conocimiento y confianza en diversos sectores, promoviendo la adopción de actividades aeroespaciales esenciales para el desarrollo económico y social del país en el primer cuarto del siglo XXI.

Palabras clave

Picosatélite, satélite, cohete, orbita, observación de la Tierra

Introducción

Desde el inicio de la era espacial cuando la antigua Unión Soviética diseñó, fabricó y envió a órbita el primer satélite de la humanidad, el Sputnik 1, alrededor del planeta en el marco de la llamada guerra fría, las potencias mundiales dieron un banderazo al comienzo de la carrera espacial. Han pasado siete décadas a la fecha y no han cesado los desarrollos tecnológicos que han permitido a otras naciones y regiones del mundo tener acceso a estas llamadas actividades espaciales, como lo es tener un satélite artificial. Hace años los llamados países en vía de desarrollo, serían los indicados a trabajar en estas áreas de innovaciones tecnológicas muy especiales, pues se trató de incursionar en el campo Espacial.

En la ciencia denominada Astronáutica, en donde se habla de señales, artilugios, comunicaciones, imágenes, instrumentos, cohetes, se necesitan recursos humanos con nivel adecuado de formación y mucho de inversión económica. Colombia, ya entrada en el siglo XXI, no ha sido ajena a esta evolución pues ya tenemos tres artefactos que han permitido acercar al país al ya muy grande grupo de naciones que aprovechan el espacio ultraterrestre. Desde el Libertad 1, el pico satélite de 1 kilogramo de

masa de la Universidad Sergio Arboleda, pasando por el FACSAT 1, hasta el FACSAT 2 Chiribiquete de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, podemos afirmar que Colombia hace presencia en el Espacio.

Generalidades de los satélites

Para acercarnos al tema de los satélites tenemos una clasificación según su peso: los más grandes superan los 1000 kg. Algunos son de tamaño mediano que están entre los 500 y los 1000 kg. Y ya satélites entre los 100 y 500 kg son considerados como mini satélites. Los microsátélites se encuentran entre 10 y 100 kg. Los nanosatélites, entre 1 y 10 kg. Y otros más pequeños que pueden llegar a pesar hasta 100 g, los femto satélites. También podemos ver que, según su aplicación, estos artefactos artificiales pueden ser de uso meteorológico, de comunicaciones de internet o televisión, trabajos de rescate, de exploración de recursos naturales o satélites de navegación tipo GPS. Por supuesto, existen los famosos satélites de observación terrestre o de uso en astronomía y ciencias del espacio y los de la línea de satélites militares que sirven para vigilancia, reconocimiento de territorios, inteligencia, etcétera.

En cuanto al tipo de órbita, los satélites pueden ser puestos en torno a la Tierra a diferentes alturas, cono-

ciéndose los de órbita baja que llegan a tener hasta 2.000 km sobre la superficie terrestre, los de órbita media entre 10.000 a 20.000 km y ya la órbita más alta que se conoce como la geo sincrónica o geoestacionaria a 36.000 km de distancia de nuestro planeta.

Picosatélite Libertad 1

Para el caso de la misión que desarrollamos en la Universidad Sergio Arboleda, se denominó el Libertad 1 y el formato de satélite que se usó fue el llamado Cubesat, un cubo, con dimensiones de 10 x 10 x 10 cm en todas sus aristas y cuyo peso no sobrepasa el kilogramo de masa. Este fue un proyecto inventado por el profesor Robert Twiggs, de la

Universidad de Stanford, donde buscó que los proyectos de sus estudiantes de ingeniería aeroespacial no se quedarán en el laboratorio, sino que realmente hicieran una prueba en el Espacio. Ver imagen 1.

Este proyecto del picosatélite Libertad 1 inició hacia el año 2005, implementado por estudiantes, profesores e investigadores de nuestra Escuela de Ciencias exactas e Ingeniería, matemáticas y el Observatorio Astronómico. Su misión básicamente sería el obtener datos de telemetría, voltaje, temperatura y corriente de su sistema. Y que una vez estuviera orbitando alrededor de la Tierra, pudiéramos comprobar nuestros diseños elec-

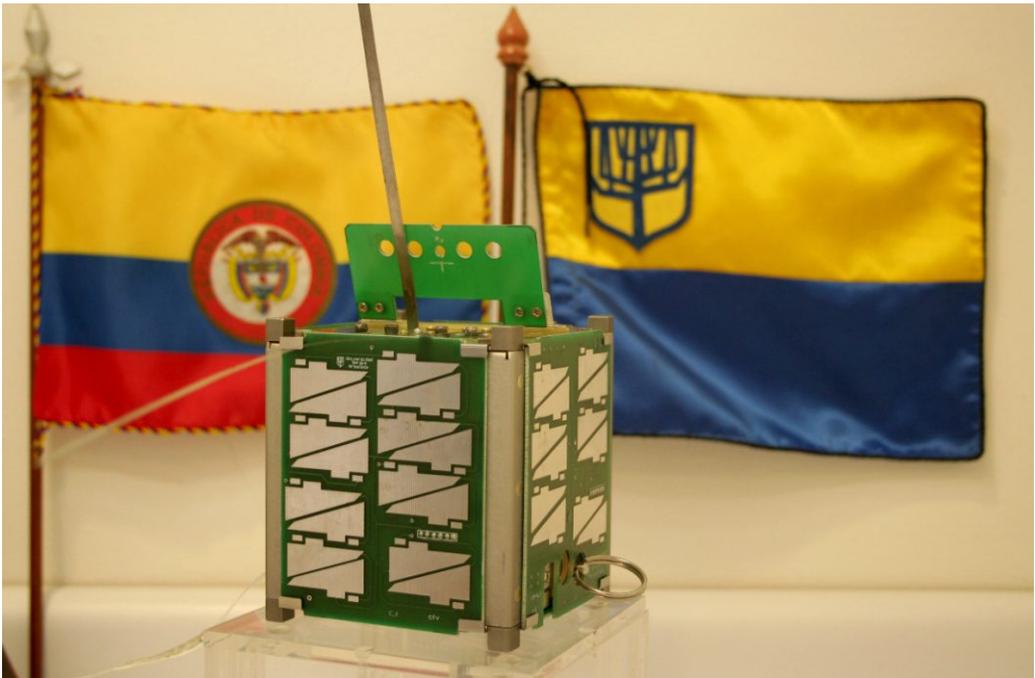


Imagen 1. Picosatelite Libertad 1. Fuente Universidad Sergio Arboleda

trónicos de las tarjetas de potencia, de comunicaciones, de estabilización y de orientación, al recibir esta información en Tierra. Ver imagen 2.

Tuvo la alianza académica con la Universidad de Stanford y la Universidad de Austin, Texas con el Profesor César Ocampo (1968-

2024). Y localmente contó con apoyo de la Aeronáutica Civil, la Fuerza Aeroespacial Colombiana y con empresas privadas como la que representa la plataforma Altium.

Para la integración al cohete y el lanzamiento se trabajó con la Universidad de CALPOLY y con la agencia espacial rusa Kosmotras.



Imagen 2. Parte del equipo humano Libertad 1. Fuente U. Sergio Arboleda

La órbita del satélite era del tipo polar, con una inclinación de 97° , a una altura de 800 km. Su plano orbital es del tipo sol sincrónica. La velocidad en su órbita es de 7.6 km por segundo y duró unos 110 minutos aproximadamente en girar una vuelta alrededor de la Tierra. Se calculó un tiempo mínimo de funcionamiento de unas 500 horas. El satélite pasaría sobre el territorio colombiano al menos 2 veces y ese tiempo de paso sobre el país sería entre 12 y 15 minutos. Para desarrollar el proyecto se adaptaron y construyeron un laboratorio de vuelo espacial en donde se realizaron las tareas de programación y desarrollo de las tarjetas electrónicas, y un cuarto limpio para el montaje de piezas.

Detalles de su composición:

En sí, el satélite Libertad 1 se componía de un módulo de control, un sistema electrónico de potencia, un sistema de telecomunicaciones, un sistema de antenas y unas baterías del tipo ion litio. La estructura fue suministrada y fabricada en aluminio por la compañía Pumpkin. La programación del satélite se realizó con el sistema operativo Salvo, que aún hoy se usa en aplicaciones industriales. Se utilizaron plataformas de desarrollo para poder hacer las respectivas programaciones de las tarjetas del sistema electrónico de potencia y de comunicaciones, logrando así tener el módulo final de vuelo. Se trabajó con tarjetas que tenían conexión tipo PC 104, las cuales iban apiladas una sobre

otra dentro del cubo; como nota curiosa, para la memoria se adaptó una del tipo SD. Por otra parte, en la parte superior del cubo se diseñó lo que sería la tarjeta de antenas, la cual tuvo como función alojar los elementos de transmisión y recepción de señales que se dieran desde el satélite o desde Tierra. Se analizaron varias alternativas de estas antenas, hasta que al final se eligió utilizar un sistema que permitía que estas se plegaran al interior del cubo y en el momento indicado, cuando ya el satélite estuviera en órbita, se desplegaran y pudieran cumplir sus tareas de transmisión o recepción de señales. Ver imágenes 3,4 y 5.

Paralelamente se construyó una estación terrena, la cual tiene un par de elementos de transmisión en las bandas de UHF y de VHF, en frecuencias de uso radioaficionado, montados sobre un sistema motriz que le permite moverse tanto en altura como en azimut y seguir el paso de los satélites. Al interior de los laboratorios se encuentra la sala de control, en donde se tiene una computadora con el software respectivo para controlar esta operación.

Se realizaron varias pruebas y se atendieron protocolos en temas de vibración, temperatura, radiación, simulando las condiciones del espacio exterior para que pudiera trabajar allí adecuadamente. Localmente, el Ministerio de Telecomunicaciones en su momento, otorgó la

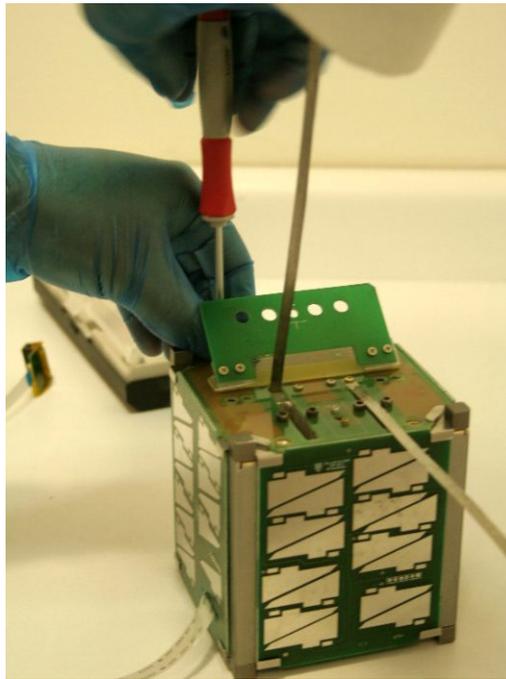


Imagen 3. Ensamble del Libertad 1. Fuente U. Sergio Arboleda



Imagen 4. Despiece del Libertad 1. Fuente U. Sergio Arboleda

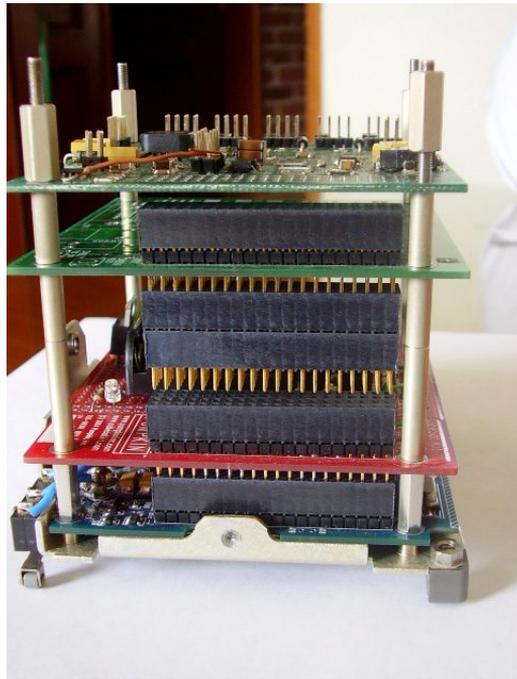


Imagen 5. Aspecto de disposición de tarjetas. Fuente U Sergio Arboleda

matrícula 5K3L para el satélite Libertad 1 y para la estación Terrena la HK3USA. A nivel internacional, en frecuencia de radio aficionado nos fueron asignados por la IARU, el organismo internacional de regulación de telecomunicaciones, una frecuencia para subir información en VHF de 145.82 Megahertz y en bajada, en la banda UHF de 437.40 Megahertz. Ver imagen 6.

El lanzamiento se nos había programado para diciembre del 2005, pero por diferentes factores ajenos a nuestro proceso (demora de la construcción de satélites de otros países y del Cohete lanzador), se reprogramó el lanzamiento al espacio para el 27 de marzo del 2007. Y a última hora fue nuevamente

aplazado para el 17 de abril del 2007. Finalmente se cumplió el despegue desde el cosmódromo de Baikonur, Kazajistán en Rusia, lugar desde donde también despegó el Sputnik 1. El lanzamiento se hizo a bordo de un cohete llamado Dnepr, en compañía de 20 satélites más que alcanzaron una altura superior a los 800 km. Casi 40 minutos después comenzamos a recibir correos electrónicos con señales de otras estaciones terrenas del proyecto Cubesat, informándonos que nuestro satélite ya estaba enviando información. En efecto, era nuestra telemetría.

Se pudo realizar el seguimiento y asegurar la toma de más de 11.000 paquetes de datos, que nos permiti-



Imagen 6. Estación terrena Rodrigo Noguera Laborde. Fuente U. Sergio Arboleda

tieron confirmar que desde el espacio estábamos recibiendo las señales esperadas y que correspondía a la trayectoria de nuestro satélite. Así iniciamos la aplicación aeroespacial en nuestro país directamente. Se le asignó al Libertad 1 el número 31128 NORAD -número de catálogo de la NASA-, con el cual se puede localizar en programas de ubicación de satélites su posición actual y su trayectoria en órbita, aunque hoy no hay transmisión de datos por agotamiento de sus baterías. Ver imágenes 7 y 8.

Posteriormente a esta misión, desde la Universidad continúa la investigación para realizar experimentos o desarrollo de subsistemas para pequeños satélites, para el estudio de la propagación de ondas elec-

tromagnéticas, modelos de transferencia de calor, desarrollo de antenas para estos picosatélites o evaluar el tema de su estabilización y control, utilizando imanes, barras de Histéresis, giróscopos o micro propulsores para misiones futuras.

El programa FACSAT

Implementado por la Fuerza Aeroespacial Colombiana -FAC-, el programa espacial ha buscado desde su punto inicial desarrollar capacidad de fabricación satelital local. También en segunda instancia, aumentar la conciencia nacional sobre la importancia del desarrollo aeroespacial y finalmente, fortalecer la cooperación Internacional. Hoy la FAC, con su equipo humano que trabaja en el Centro de Investi-



Imagen 7. Bandera colombiana en Cohete Dnper. Fuente Kosmotras



Imagen 8. Salida cohete Dnper Libertad 1. Fuente Kosmotras

gación en tecnologías aeroespaciales -CITAE- y la Jefatura de educación aeronáutica -JEA-, ha logrado llevar a cabo estos objetivos. Es importante resaltar que este programa FACSAT resulta de un plan piloto para el desarrollo de la doctrina espacial que se planteó esta fuerza. Con base en el pensamiento estratégico del poder espacial y el desarrollo de capacidades para el programa espacial colombiano, mediante pequeños satélites, cumplió la primera misión denominada FACSAT 1 y luego una misión FACSAT 2. Todo esto, ha ido acompañado de una gran gestión tecnológica y de innovación. Mantiene capacitación e información de las personas que trabajan en estos centros de investigación, acompañados de empresas internacionales y locales con la experiencia en el desarrollo, implementación, fabricación y puesta en órbita de estos satélites. La FAC ha trabajado los temas de Nanosatélites en el diseño y construcción de la estación

terrena, en los trámites del registro satelital, en aprender y gestionar el lanzamiento de los satélites; en realizar el estudio y selección de órbitas, en la operación misma del satélite cuando ya está en órbita y en el desarrollo de procesamiento de imágenes adquiridas por estas plataformas. Así cierra el ciclo con la validación satelital y transferencia de conocimiento.

Misión FACSAT 1

La Fuerza Aeroespacial Colombiana inició con el proyecto FACSAT 1 con la selección de una empresa aliada especialista en el desarrollo de pequeños satélites llamado GomSpace. Trabajó en un programa de transferencia de conocimiento y tecnología hacia el año 2015, que luego desarrolló e implementó en los años 2016 y 2017; la integración final del satélite fue en el año 2018. Con este satélite se buscaba realizar tareas de observación de la Tierra con una órbita



Imagen 9. Facsat 1. Fuente FAC



Imagen 10. Detalle celdas solares Facsat1. Fuente FAC

de tipo polar, es decir, que se movería de polo a polo sobre nuestro planeta a una altura promedio de 500 km de altura y una vuelta a él le tomaría aproximadamente 90 minutos con una velocidad de 7.6 km/seg. Ver imágenes 9 y 10.

El satélite llevaría como carga útil una cámara para captar imágenes con una resolución de 30 metros por pixel, el rango de velocidad de transferencia de datos de esta cámara variaba entre 0.1 a 0.9 kb/seg y el diámetro de su lente sería aproximadamente de unos 9 cm; iría a bordo de un cohete, en donde también se encontraban satélites de Australia, Canadá, Finlandia, Malasia, Holanda, España y varios de Estados Unidos, cada uno con diferentes tipos de misiones. El lanzamiento se realizaría en la India, en el centro espacial de su agencia espacial, en Satish, Dhawan, y la fe-

cha de lanzamiento se programó para noviembre 28 de 2018, a las 23 horas 15 minutos de Colombia, a bordo del cohete PSLV C-29. Ver imágenes 11 y 12.

Durante el desarrollo e implementación del satélite y hasta el lanzamiento, junto a la capacitación y formación y posterior monitoreo, participaron activamente oficiales, suboficiales, cadetes y docentes que asistieron a los talleres y capacitaciones desarrollados; además, contó con la colaboración de universidades colombianas. Se centralizaba el trabajo desde la estación terrena ubicada en el CITAE, en la Base Aérea Marco Fidel Suárez en Cali. Ver Imagen 13. Y una vez puesto en órbita, se pudieron observar las primeras imágenes logradas desde el espacio con este satélite, específicamente sobre la región de Caldas en Colombia y



Imagen 11. Cabeza de Cohete Falcon 9. A bordo Facsat1. Fuente FAC



Imagen 12. Despegue Cohete con Facsat1 a bordo



Imagen 13. Equipo humano Facsat 1. Fuente FAC

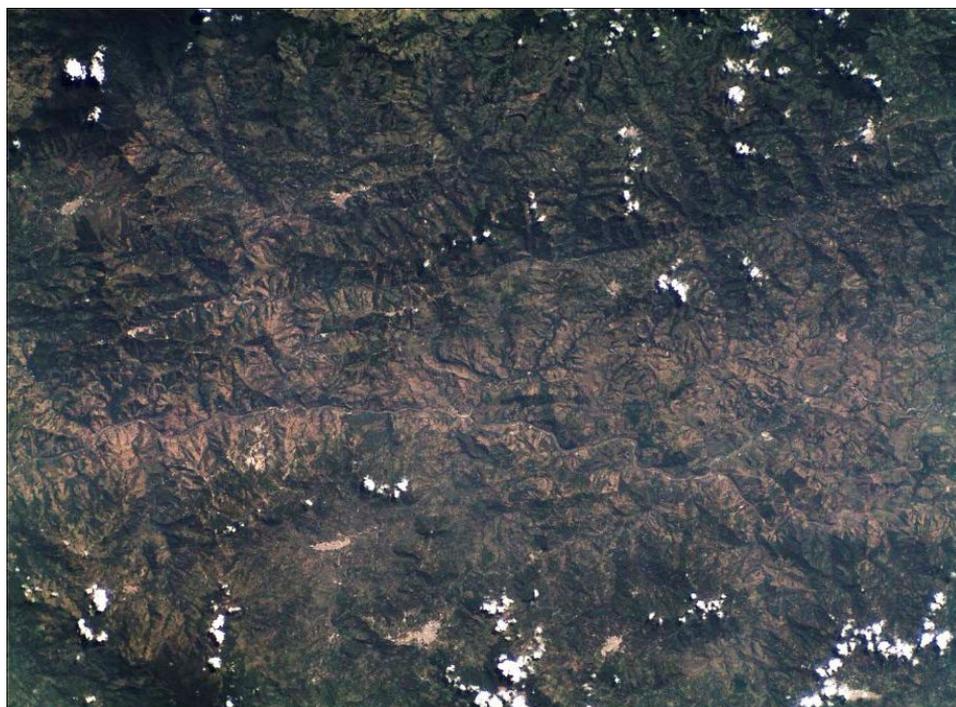


Imagen 14. Toma lograda por Facsat 1 sobre Caldas, Colombia. Fuente FAC

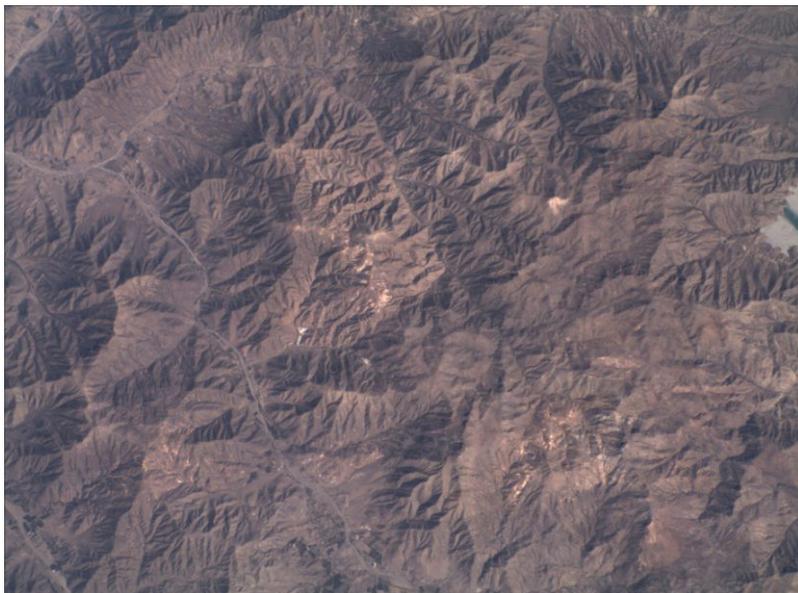


Imagen 15. Toma sobre Chile por Facsat 1. Fuente FAC

también sobre Chile. Ver imágenes 14 y 15.

Misión FACSAT 2 - Satélite Chiribiquete

Como segunda misión, la Fuerza Aeroespacial Colombiana desarrolló una plataforma con base en la misión satelital FACSAT 2, con el nombre de nuestro Parque Nacional, el Chiribiquete. Esta misión tenía como objetivo promover imágenes electro-ópticas del territorio colombiano para análisis de la fuerza aérea y otras entidades del Gobierno; también buscaba adquirir información, radio métrica de la atmósfera para análisis de gases de efecto invernadero. Todo esto apuntaba a necesidades del Estado, de nuestra industria y también de nuestra academia. Este satélite

tiene un tamaño de 6 unidades tipo Cubesat y la cámara que llevaría ya tenía el poder de 5 m de resolución por pixel. Se podrían tomar imágenes multi espectrales sobre la órbita planeada para su movimiento alrededor de la Tierra a 550 km de altura, con una vida útil de cinco años y menor a 25 años, pesaba aproximadamente 7 kg y sus dimensiones básicas serían de 10 cm de ancho por 20 cm de fondo y 30 cm de alto. Ver imagen 16.

El lanzamiento se estableció para el 15 de abril de 2023, a bordo de un cohete Falcón 9 de la compañía Space X desde California, en Estados Unidos. Con el satélite Chiribiquete se obtuvieron varias imágenes de regiones costeras de diferentes lugares del mundo, en donde se pueden apreciar zonas de



Imagen 16. Facsat 2. Fuente FAC



Imagen 17. Toma de Facsat 2 sobre Valladolid. Fuente FAC

ciudades, zonas de agricultura y cuerpos de agua. Ver imágenes 17, 18 y 19.

También se realizaron trabajos como el proyecto de una estación terrena en la Antártida en la base chilena, en donde por medio de una antena tipo RGB que opera en la banda S y X, se podrían realizar toma de datos y desde donde se tendría capacidad de operar satélites como los FACSAT 1 o el Chiribique. Entre varias misiones a futuro, también existe la llamada misión LEOPARD, en donde, con la participación de Colciencias y un grupo de universidades como la Universidad Industrial Santander, la Universidad del Valle y la Universidad Sergio Arboleda, se trabajan

en conjunto varios sistemas tan importantes como el desarrollo de una cámara para registro de imágenes y control de satélites.

Finalmente, como logros obtenidos de estas misiones espaciales en Colombia, tenemos lo siguiente:

- Satélite Libertad 1

Primer satélite colombiano en el Espacio, abril 17 de 2007, Baikonur Kazajistán, al confirmar su paquete de datos transmitido desde el Espacio a más de 800 km de altura. Universidad Sergio Arboleda.

Rompimiento del paradigma de los proyectos que parecen demasiado difíciles, costosos y no requeridos para Colombia.

NORAD ID 31128



Imagen 18. Facsat 2. Toma sobre salon de Provence. Fuente FAC



PROCESSED BY **farearth**

Imagen 19. Detalle sobre bordes costeros. Fuente FAC

- Satélite Facsat 1

Primer satélite de la Fuerza Aérea Colombiana FAC, 17 de noviembre de 2018. India.

Primera imagen satelital colombiana de la superficie terrestre con el satélite.

Plataforma que permitió la formación y especialización de equipo humano especializado en esta área.

NORAD ID 47321

- Satélite CHIRIBIQUETE FACSAT 2

Segundo satélite de la Fuerza Aérea Colombiana FAC, abril 15 de 2023. California, EEUU.

Experimentos a bordo: cámara para obtener imágenes y espectrógrafo de gases.

NORAD ID 56205

Referencias

LIBERTAD 1

<https://www.usergioarboleda.edu.co/satelite-libertad-1/#equipo> - Equipo humano Libertad 1

<https://www.n2yo.com/?s=31128> - Localización actual Libertad 1

<https://www.usergioarboleda.edu.co/satelite-libertad-1/#investigacion> - Artículos investigación

Libertad 1

www.cubesat.org - Proyecto Cubesat
<https://www.orbireport.com/index-5/> - Listado Satélites lanzamiento Abril 17 2007

FACSAT1

https://www.esufa.edu.co/sites/esufa/files/IMAGENESESUFA/Tecnoesufa/revista_tecnoesufa_edicion_29_2020.pdf - Transferencia de tecnología y desarrollo de capacidades para el programa espacial colombiano mediante peque-

ños satélites. Revista Tecnoesufa, volumen 29 - diciembre 2019. Corredor Giovanni, Comisión Colombiana del Espacio. Benavides Eliot, jefe de Educación Aeronáutica.

FACSAT-2: Avance del programa espacial colombiano. Sonia Rincón, Juan Manuel Cárdenas, Karen Pirazan: Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) 

FACSAT2

<https://educacion.aciem.com.co/Revisita/Revista-ACIEM-147.pdf> - MISIÓN

Raúl Andrés Joya Olarte

Director del Observatorio Astronómico de la Universidad Sergio Arboleda. Ingeniero mecánico de la Universidad de América con Maestría en Docencia e Investigación Universitaria de la Universidad Sergio Arboleda y Especialización en Astronomía de la Universidad Nacional de Colombia. Cogestor y director del picosatélite Libertad 1. Ha sido Vice presidente de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia ACAC, Presidente de la Red de Astronomía de Colombia RAC, Presidente de Asociación de astrónomos autodidactas de Colombia ASASAC y miembro de la Academia Internacional de Astronáutica IAA (por sus siglas en inglés). Punto focal en Colombia para RELACA Espacio.

IA

Roberto Pardo Silva

CURSO TÉCNICO DE IA GENERATIVA

Modalidad Virtual

Explora el poder de la IA Generativa: fundamentos, aplicaciones y el futuro del desarrollo tecnológico.

Abril 28 y 30

Mayo 2, 5 y 6

4:30 pm - 7:30 pm



Cronograma Maratones de Programación 2025

Programadores de America

Marzo 12 - 22

Salvador do Bahía, Brasil

Training Camp Colombia 2025

Junio 16 - 27

Bogotá, Colombia

ICPC World Finals 2025

Agosto 31 - Septiembre 5

Bakú, Azerbaiyán

Maratón Nacional 2025

Octubre 18 (Por confirmar)

Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Barranquilla, Manizales

ICPC Latin American Regional 2025

Noviembre 8

20 Países / Bogotá, Colombia

ROUND 1	MARZO 1
ROUND 2	MARZO 22
ROUND 3	ABRIL 12
ROUND 4	MAYO 10
ROUND 5	MAYO 31
ROUND 6	JUNIO 28
ROUND 7	AGOSTO 9
ROUND 8	AGOSTO 30
ROUND 9	SEPTIEMBRE 20
ROUND 10	OCTUBRE 11
ROUND 11	NOVIEMBRE 1