



# CAPÍTULO IX

## DIMENSIÓN ESPACIAL DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN COLOMBIA\*

---

*CR. (RA). Raúl Eduardo Gutiérrez Gómez  
Santiago Vargas Domínguez*

\* Este capítulo hace parte del Proyecto de Investigación de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales, *Desafíos y Nuevos Escenarios de la Seguridad Multidimensional en el Contexto Nacional, Regional y Hemisférico en el Decenio 2015-2025*, el cual hace parte del Grupo de Investigación Centro de Gravedad de la Escuela Superior de Guerra General Rafael Reyes Prieto, reconocido y categorizado en (A1) por COLCIENCIAS, con el código COL0104976.



## 1. Introducción

En este apartado se pretende exponer un panorama general sobre el estado actual de la aplicación y empleo en Colombia de las ciencias espaciales y de la tecnología espacial. En otras palabras, se intenta abordar y presentar cómo diferentes entidades y organizaciones en el país hacen ciencia espacial y/o aplican tecnología espacial en cumplimiento de sus objetivos y funciones institucionales. Es necesario aclarar que para su elaboración se ha recurrido a información oficial y verificable de las diferentes fuentes; pero, dada la extensión del capítulo, es posible que no se cubran en su totalidad o con la profundidad deseable todas las manifestaciones de la dimensión espacial de la ciencia y la tecnología en Colombia. No obstante, la información aquí contenida sí puede convertirse en un insumo de información valiosa y en punto de partida para una investigación más detallada y de mayor alcance.

Es importante reconocer y agradecer el aporte de entidades y personas relevantes en el campo espacial en el país, sin cuyo concurso, mediante valiosa información, este capítulo estaría muy incompleto. En la mayoría de los casos las diversas fuentes se citan o se incluyen directamente en el texto, en otros se respetó la solicitud de no ser mencionadas, pero igualmente se agradece su muy valioso apoyo.

## 2. Aplicaciones prácticas de la ciencia y la tecnología espacial

En procura de ofrecer una perspectiva general, se presenta a continuación una visión general del estado actual y los retos de la aplicación y empleo en Colombia de las ciencias y la tecnología espaciales. A título seguido, se entra a describir con algo más de detalle y minuciosidad las diferentes vertientes, disciplinas o ámbitos de empleo y aplicación.

## 2.1 Panorama general

Aunque la información geoespacial no sea perceptible de manera directa para los ciudadanos colombianos, como sí lo es transitar por una nueva carretera primaria o secundaria, u observar a través de programas institucionales o noticieros la inauguración de un colegio público o la modernización de un aeropuerto, todo el tiempo, detrás de muchos procesos de entidades públicas o privadas, se usan datos producidos por sensores satelitales. En Colombia, desde hace algunas décadas, comenzó a hacerse uso de este tipo de datos, que cada vez más se convierten en un valor transversal, del cual se derivan nuevos tipos de información para tomar decisiones en diferentes ámbitos.

Colombia posee aproximadamente un millón ciento cuarenta y un mil kilómetros cuadrados (1,141,000 km<sup>2</sup>) de área continental y novecientos ochenta y ocho mil kilómetros cuadrados (988,000 km<sup>2</sup>) de superficies marinas, para un total de dos millones ciento veintinueve mil kilómetros cuadrados (2'129.000 km<sup>2</sup>). Asociada a su gran extensión superficial, es bien conocida, pero pocas veces comprendida, la increíble complejidad del territorio y superficies marítimas con sus valles, selvas, cordilleras, sabanas, llanuras, desiertos, páramos, ríos, lagos, lagunas, humedales, mares, islas, islotes, ciénagas, manglares, etc., con toda la sorprendente diversidad biológica, mineral y humana asociada. Colombia es el segundo país más biodiverso del mundo. Un solo dato ilustra la enorme riqueza natural nacional: el 60% de todos los páramos del mundo se encuentran en Colombia.

Tal extensión y variedad de territorios, que representan una riqueza inigualable, deberían ser monitoreados de manera constante, idealmente con frecuencia diaria o semanal. La única forma de garantizar cobertura, monitoreo y vigilancia a tan vasto territorio de manera eficiente y con la frecuencia requerida, es mediante capacidades de observación de la Tierra desde el espacio. No existe otra forma, pero obviamente la sola capacidad de obtener imágenes desde el espacio no lo es todo. Tal capacidad debe ir acompañada de las tecnologías en software y aplicaciones que permitan procesar, interpretar, difundir y emplear los datos satelitales. Además, de manera ideal, se debe complementar con otros sistemas terrestres, marítimos y aéreos (sensores, drones, etc.) para optimizar la obtención, flujo y procesamiento de la información ¿Se comprende en Colombia esta realidad y la necesidad de contar con autonomía en la adquisición y empleo de información satelital?

El uso de datos satelitales ha dejado de ser propio de aplicaciones para defensa y vigilancia y se ha convertido en un factor relevante y fundamental en múltiples usos de impacto civil. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), que fue fundado en

1935 con el nombre de Instituto Geográfico Militar, después de 84 años, es una de las instituciones más importantes para el país en la obtención y uso de datos satelitales para la creación de productos basados en información geoespacial. El IGAC, produce y actualiza constantemente, mapas a diferentes escalas, que posteriormente son usados como base para diferentes aplicaciones. Actualmente, podría decirse que uno de los principales insumos de la producción del IGAC para el país y las instituciones que usan su información, son los datos basados en diferentes sensores remotos.

Entre las múltiples entidades e instituciones oficiales que consumen datos y productos del IGAC, están: Ministerio de Agricultura y dependencias como la Unidad de Planificación Rural Agrícola (UPRA), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP); Ministerio de Transporte con su Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), Ministerio de Minas y Energía por medio de la Agencia Nacional de Minería (ANM) y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH); Ministerio de Medio Ambiente con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR); Ministerio de Justicia por medio del Observatorio de Drogas de Colombia (ODC); Ministerio de Vivienda; Departamento Nacional de Planeación (DNP); Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD); unidades administrativas y dependencias de catastro municipal, entre otras. Varias de las entidades relacionadas, además de contar con datos obtenidos y difundidos por el IGAC, los complementan mediante la adquisición de manera autónoma de datos satelitales de otras fuentes.

Dentro de cada una de las instituciones mencionadas, existe la necesidad de levantar información sobre actividades socioeconómicas, ambientales, de desarrollo y gestión de la dinámica del Estado, a partir de los lineamientos de la misión que corresponda a cada una. Actualmente, muchas de estas necesidades de información se satisfacen parcialmente. También es claro que hacia el medio y largo plazo existen muchos retos que se deben asumir para mantener y elevar los índices de competitividad y desempeño institucional para el desarrollo del Estado.

Las aplicaciones y usos que se da a los datos geoespaciales en cada una de las unidades institucionales, varían con respecto a los sistemas, actividades y cambios sobre la cobertura que se quieren medir; en el caso de la agricultura, existen varias aplicaciones, ya sea para hacer identificación de suelos o para monitorear la frontera agrícola, las áreas cultivadas o medir variables agronómicas, que mediante su estudio

permiten identificar las zonas con aptitud para el desarrollo de actividades productivas. Este insumo técnico es la base para el direccionamiento de políticas agropecuarias y el desarrollo de proyectos de inversión que fortalezcan las cadenas productivas y permitan que el sector sea competitivo.

El desarrollo de diferentes mapas de zonificación a nivel nacional se orienta a identificar y delimitar las áreas con vocación para el desarrollo de aquellos cultivos comerciales prioritarios, que están establecidos a través de las políticas de desarrollo, como sectores o actividades económicas que, a través del impulso agrícola, jugarán un papel importante y estratégico en el desarrollo económico y social de Colombia.

Otra aplicación importante y que tiene una gran influencia en la extensa dimensión rural del país, es el programa Colombia Rural, liderado por el INVÍAS, el Ministerio de Transporte y el Departamento Nacional de Planeación. Este programa busca monitorear y mantener en óptimas condiciones, los aproximadamente 140 mil kilómetros de vías terciarias distribuidas a lo largo y ancho de la geografía. Este tipo de vías se caracteriza por ser las de menor calidad técnica y, generalmente sufren por eventos climáticos o geotécnicos; por ello, es estrictamente necesario que sean monitoreadas constantemente para garantizar el tránsito de la población rural hacia las grandes conglomeraciones con el fin de asegurar el acceso a las cadenas de valor y comercio del sector agrícola, pero dadas la dispersión geográfica y la complejidad de los territorios que dicha red cubre, la forma óptima de lograrlo es a través de sensores satelitales.

Entre toda la gama de soluciones que usan datos satelitales, también se encuentra el proyecto de catastro rural multipropósito, con impacto nacional de gran envergadura, que fortalecerá la seguridad en la tenencia de la tierra y facilitará el acceso a la información predial con más diversidad de datos. Para incrementar la eficiencia en la ejecución de este tipo de proyectos transversales, es vital e ideal, tener fuentes propias de datos espaciales. Poseer un conjunto de satélites de alta resolución para crear las herramientas cartográficas en las escalas exigidas, permitiría que proyectos como el catastro rural multipropósito, se desarrollen en menos tiempo y puedan ser actualizados periódicamente a menor costo.

En el área de minería, el IGAC desarrolla metodologías para identificación y monitoreo de zonas mineras a cielo abierto. A través de la implementación de estos desarrollos, se podrá realizar vigilancias ambientales, establecer el impacto en los ecosistemas e identificar y medir la deforestación a causa de la expansión de las áreas mineras. Adicionalmente, se integran los datos generados a un sistema de monitoreo de zonas mineras legales e ilegales, que identifican, monitorean y reportan las zonas de actividad minera,

con el propósito de que las entidades competentes tomen decisiones y acciones de tipo ambiental, sancionatorio, jurídico, legal, tributario, entre otros.

El uso de sensores remotos satelitales se convierte en una herramienta que ayuda a controlar zonas de minería que están sobre la superficie y de las cuales se puede saber exactamente la ubicación y el tamaño de proyectos ilegales que están degradando el medio ambiente, que son determinantes en la pérdida total del suelo productivo, la contaminación de las aguas y el deterioro de las coberturas de vegetación, en zonas de muy difícil acceso. Se calcula que solo en minería ilegal de oro se pierden más de US\$1.200 millones por año.

A través de sensores multi e hiperespectrales de satélites de observación de la Tierra, se puede capturar información valiosa sobre cultivos ilícitos. La investigación y el desarrollo para alcanzar metodologías que permitan la detección, identificación y la medición de las áreas, es un reto constante para el Estado. La captura de diferentes bandas del espectro electromagnético, a través de índices de vegetación y métodos de analítica, ayuda a obtener las cifras con las cuales se toman decisiones de impacto en procura de reducir el problema de la producción y tráfico de drogas.

En el contexto energético del país, existen ejemplos de aplicaciones como en la industria de hidrocarburos, que están enfocados en los tres diferentes segmentos: upstream, midstream y downstream, con soluciones que posibilitan el monitoreo de los campos de producción de crudo y gas, de líneas de transporte y franjas de derecho de vía a lo largo de oleoductos, poliductos y gasoductos, que se conectan entre sí a través de estaciones de bombeo y finalmente con instalaciones que transfieren crudo a buques de transporte o directamente a instalaciones de procesos de refinamiento. Actualmente, la ANH, a través de mapas que pueden ser actualizados con información satelital y diferentes bandas de base multispectral e hiperespectral, puede visualizar la información del estado de las áreas en Colombia, con una representación gráfica del Mapa de Tierras (figuras 1 y 2), el cual es actualizado periódicamente. En él, se muestran las áreas asignadas con contratos de hidrocarburos, las que la ANH ofrece dentro del Procedimiento Permanente de Asignación de Áreas -PPAA- (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2019), al igual que las áreas reservadas y las disponibles; sobre éstas últimas, las compañías interesadas podrán realizar solicitudes de incorporación de áreas dentro del PPAA.

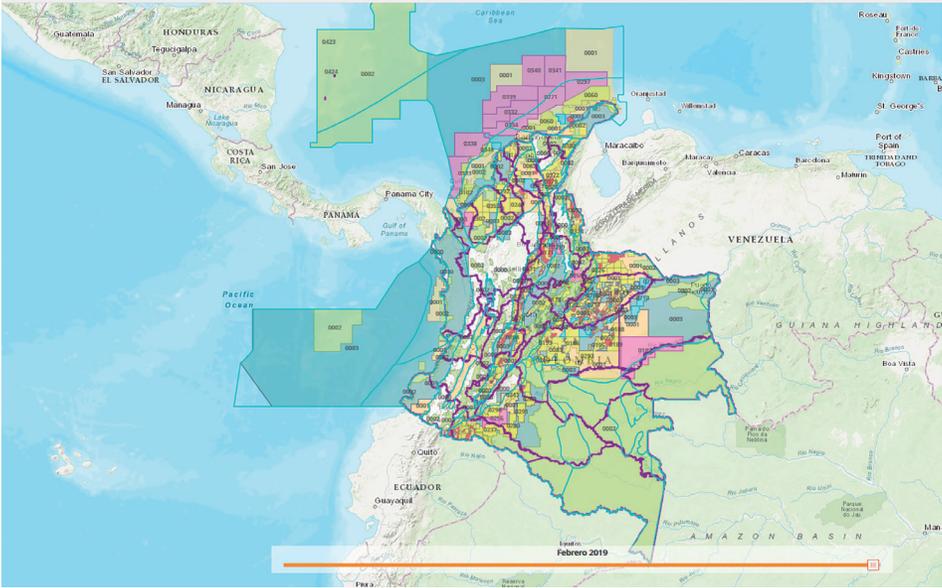


Figura 1. Mapa de Tierras - Colombia  
Fuente: (ANH, 2019)

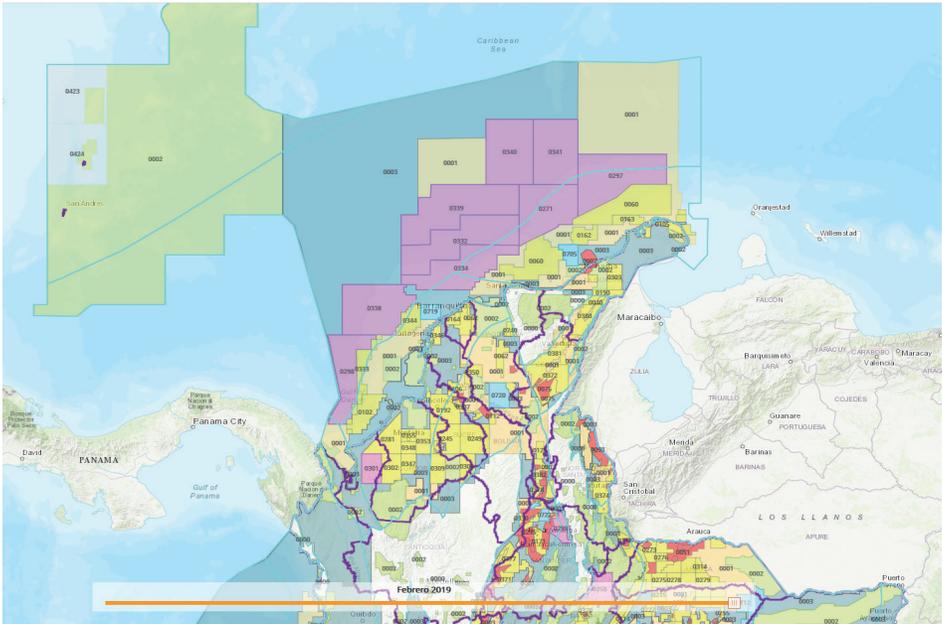


Figura 2. Mapa de Tierras - norte de Colombia  
Fuente: (ANH, 2019)

En el escenario de soluciones también hay espacio para la prevención, mitigación y atención de desastres naturales. Con pares estereoscópicos, tomados con satélites de observación desde distintos ángulos sobre áreas específicas, se pueden crear modelos digitales de terreno para caracterizar áreas que sean sensibles a inundaciones, deslizamientos, erosión, socavación y otros fenómenos subterráneos o superficiales. Con la alta revisita que ofrece una constelación de un conjunto de entre ocho a 12 satélites, se puede monitorear la actividad de un desastre para gestionar la planificación de su atención.

Son muchas y amplias las aplicaciones de la tecnología espacial en el país; a pesar de esto, sus ventajas aún no han sido aprovechadas a su máximo potencial para contribuir en la generación de mejores condiciones socioeconómicas para la población colombiana y garantizar que se aproveche sus enormes riquezas e increíble potencial para entrar en el orden de las naciones más desarrolladas.

## 2.2 Panorama por áreas o disciplinas

### 2.2.1 Aplicaciones prácticas de las ciencias astronómicas.

La astronomía se percibe en el imaginario colectivo como una disciplina milenaria que se basa en la contemplación del cielo nocturno, pero en ella confluyen de forma permanente una amplia gama de saberes de otras ciencias y disciplinas. Sumado al deseo de encontrar respuestas a un gran número de interrogantes sobre el Universo, la astronomía también genera notables aportes para el desarrollo tecnológico y avance de la sociedad (Rosenberg, Russo, Blandon y Lindberg, 2018). Hoy en día, las sociedades humanas se encuentran rodeadas de multitud de objetos y herramientas que han surgido gracias a los aportes de la investigación en astronomía y ciencias del espacio.

Por ejemplo, los dispositivos tecnológicos CCD (Charged Couple Device) que hoy se encuentran en cámaras fotográficas, computadores portátiles y teléfonos celulares, fueron usados por primera vez en astronomía en 1976 para capturar la luz que se recogía a través del telescopio, remplazando a la fotografía análoga. Así mismo, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) se basan en objetos astronómicos como galaxias distantes, para determinar las posiciones con precisión y también hacen uso de la relatividad general para funcionar correctamente.

En medicina se usan técnicas de resonancia magnética para poder hacer imágenes de alta resolución al interior del cuerpo, cuyo principio de funcionamiento está basado en la necesidad de combinar datos de múltiples telescopios y producir imágenes individuales de mayor resolución en búsqueda de objetos de poco brillo en el Universo. El uso de quirófanos, con sus espacios limpios, las prendas usadas por el personal y las técnicas utilizadas para descontaminación del ambiente son heredadas de las conocidas como “salas blancas” o “salas limpias” en donde se hace la integración y ensamble de satélites que viajarán al espacio. Allí se controlan las condiciones de número de partículas en el aire, humedad, temperatura, cantidad de luz y flujo de aire, para eliminar microorganismos y evitar que las sondas de exploración espacial contaminen otros planetas o lugares del espacio con organismos terrestres.

También en el campo de la medicina, la dificultad de llevar médicos en naves solo con el fin de atender a los tripulantes, desarrolló la llamada telemedicina, para hacer consultas, diagnósticos e incluso cirugías a distancia y en tiempo real. Y por supuesto, tener seres humanos expuestos a ambientes extremos, con condiciones de microgravedad, hace que se profundice en el conocimiento del funcionamiento de órganos y demás sistema en el cuerpo. Los experimentos en estaciones espaciales en órbita han hecho aportes a la biología, la química o la física, destacándose investigaciones que desarrollan técnicas de separación como la electroforesis, crecimiento de bacterias en biología, o redes cristalinas en materiales en el área de física.

Los estudios en astronomía y astrofísica requieren de habilidades para programar y analizar datos, haciendo uso de métodos computacionales, inteligencia artificial y técnicas que también pueden ser aplicadas en otros campos industriales y empresariales. Diversos programas y algoritmos computacionales desarrollados para analizar datos astronómicos son actualmente la base del funcionamiento de importantes compañías en diversos sectores de la industria. Tal es el caso de General Motors que utiliza IDL, un software para visualización y manejo de datos de uso común en astronomía, con el fin de analizar las pruebas de choque de sus vehículos. Otras empresas, como la de telecomunicaciones AT&T, usan uno de los programas más empleados por los astrónomos, el Image Reduction and Analysis Facility (IRAF).

Hay ejemplos mucho más cercanos en productos cotidianos como el teflón, revestimiento resistente a rayones, alimentos deshidratados, películas de vinilo, el termómetro láser y los protectores solares, que fueron desarrollados en un principio desde la astronomía y en particular, en misiones para la exploración espacial.

Muchas de las principales contribuciones de la astronomía no están directamente relacionadas con aplicaciones tecnológicas sino con el objetivo de poder prolongar la supervivencia de la especie humana, como por ejemplo estar preparados ante posibles amenazas contra el planeta como asteroides potencialmente peligrosos, o combatir el calentamiento global. Gran parte del conocimiento sobre la Tierra se debe a los desarrollos satelitales que han podido ahondar en el estudio de diversos componentes de ese gran sistema dinámico, que es el lugar donde el hombre habita en el Universo.

### 2.2.3 Astronomía, astrofísica y ciencias afines.

Históricamente, el país ha tenido una cercana relación con la astronomía, que se remonta a finales del siglo XVIII en cabeza de José Celestino Mutis, reconocido como el padre de la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada. Por iniciativa de Mutis, se construyó el primer observatorio astronómico fijo del continente americano, cuyos planos arquitectónicos fueron obra del español Fray Domingo de Petrés, inspirado en los observatorios de París (Francia) y Greenwich (Inglaterra). El 20 de agosto de 1803 se concluyó la construcción del icónico edificio en los predios actuales, contiguos a la Casa de Nariño. Su primer director fue Francisco José de Caldas. El sabio Caldas comenzó las labores en el observatorio en 1805 después de colaborar con la Expedición Botánica en un viaje a Ecuador, y ocupó su tiempo entre observaciones astronómicas y meteorológicas. Encontró la latitud del sitio, ubicado en el solar de la casa de la Expedición Botánica en el centro de Bogotá, trabajo que complementó con determinaciones de latitud de otros lugares como Popayán, y diferentes labores cartográficas apoyado en observaciones astronómicas. Los primeros años fueron bastante convulsionados, Caldas fue sentenciado a muerte el 28 de octubre de 1816, y la inestabilidad política de mediados del siglo XIX opacó substancialmente el fortalecimiento de las investigaciones científicas en el país (Duque, 2016). En 1868 el Observatorio Astronómico se adscribió a la Universidad Nacional de Colombia y, a cargo de su director José María González Benito, se adquirieron instrumentos más sofisticados para la observación de los astros y se aumentó el relacionamiento con astrónomos de renombre internacional. Para el año 1882 salió a la luz el primer número de los Anales del Observatorio Astronómico Nacional de Bogotá (OAN), donde se recopilaban los trabajos.

Una de las figuras más destacadas de la astronomía local fue sin duda el ingeniero y matemático Julio Garavito Armero, quien en 1892 asumió como director del OAN y fue profesor de la cátedra de astronomía en la Escuela de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Apoyó el uso de la astronomía para resolver de manera práctica

algunas necesidades del país. En 1902, el gobierno decidió institucionalizar una Oficina de Longitudes con el propósito de apoyar la cartografía del país y la delimitación de fronteras, y se estableció por la Ley 118 del 11 de junio del mismo año, que el OAN, desde donde se transmitían las señales horarias por vía telegráfica, fuera el de punto origen de las coordenadas de longitud y las latitudes, usando las modificaciones introducidas por Garavito sobre el llamado método de Talcott, a partir del desplazamiento relativo de una estrella respecto al zenit. Garavito también enfocó una parte importante de su trabajo en mecánica celeste, ciencia que estudia el movimiento de los astros. Su propósito era desarrollar tablas del movimiento lunar que complementaran las que existían en el momento para poder determinar con precisión los ciclos lunares; un aporte práctico que salía de sus trabajos teóricos. El científico murió en 1920 y desde 1970 la Unión Astronómica Internacional asignó su nombre a una región de cráteres de la Luna, de 80 kilómetros de diámetro, ubicados en el lado oculto del satélite natural de la Tierra (Melo, 2018).

A mediados del siglo XX, se construyó otra sede del OAN en el campus de la Universidad Nacional en Bogotá, equipado con un telescopio comprado a Francia, de 30 cm de diámetro y 300 cm de distancia focal, que había pertenecido al Observatorio de Marsella. Entre 1958 y 1998, con un par de interrupciones, fue rector de esta alma máter el profesor Jorge Arias de Greiff; dirigió el OAN, y dedicó importantes esfuerzos en un proyecto de instalación de un observatorio de montaña, de un metro de diámetro, para ser ubicado cerca al Parque de los Nevados, con la intención de poner la capacidad de instrumentación astronómica de Colombia en el panorama internacional, al nivel de otros países de la región como Venezuela, en donde se destacaban los esfuerzos de la comunidad que materializaron en modernas instalaciones como las del Observatorio Llano del Hato en Mérida. Se hizo prospección astronómica para encontrar los sitios más aptos para la observación del cielo nocturno; la pequeña comunidad astronómica colombiana creía firmemente en el desarrollo de la astronomía y ciencias del espacio como herramienta para el desarrollo del país. A pesar de los esfuerzos, el proyecto no contó con apoyo suficiente, y la coyuntura del momento en materia de políticas de desarrollo relacionadas con cubrir necesidades básicas insatisfechas, incluida la crisis del café que afectaba a la Federación Nacional de Cafeteros, entidad que apalancaría al proyecto, produjo que se estancara definitivamente (Arias, 1993).

En el escenario internacional se despertaba en diversas esferas de la sociedad un mayor interés por la ciencia y la tecnología, y específicamente por la astronomía y la exploración espacial. Un buen número de grandes acontecimientos ocurridos a comienzos de la segunda mitad del siglo XX fueron los detonantes de esta tendencia

mundial, entre los que se destacan la puesta en órbita del primer satélite artificial (*Sputnik 1*) el 4 de octubre de 1957, y la llegada del ser humano a la Luna el 20 de julio de 1969. En Colombia, durante el intervalo entre ambas fechas históricas, se vivió una repercusión significativa que tuvo célebres frutos. En 1957 el país fue una de las naciones participantes del Año Geofísico Internacional, que entre sus objetivos buscaba profundizar en el estudio de las ciencias de la Tierra y su entorno. Ese año, llegó a Bogotá una ionosonda para analizar las propiedades de la ionosfera sobre la ciudad de Bogotá, que realizó mediciones durante una década. Por su parte, a finales de 1969, entró en operación el Planetario de Bogotá que marcó un referente en el acceso de los habitantes de la ciudad a los temas de astronomía y ciencias del espacio, fomentando la participación de nacientes grupos de astrónomos aficionados y motivación entre los más neófitos. Actualmente, Colombia cuenta con un gran número de grupos y asociaciones de astrónomos aficionados en las principales ciudades del país, que día tras día siguen aumentando el interés por esta ciencia entre niños y jóvenes, a través de multitud de actividades tales como conferencias, cursos, talleres y festivales. Cabe destacar a la Asociación de Astrónomos Autodidactas de Colombia (ASASAC), creada en 1965 y que hoy por hoy, con el nombre de Asociación de Astronomía de Colombia, sigue destacándose como la agrupación más grande y más antigua de aficionados a la astronomía en el país, ampliamente reconocidos por organizar anualmente el Festival de Astronomía de Villa de Leyva, uno de los más importantes de América Latina. Y finalmente, menos de un año después del viaje a la Luna, el 25 de marzo de 1970, se inauguró en el municipio de Chocontá, a 75 kilómetros al noreste de Bogotá, el denominado Centro de Comunicaciones Espaciales de Colombia. Se trataba de una enorme antena de 32 metros de diámetro desde donde salieron y se recibieron desde la órbita geostacionaria las primeras señales de televisión del país. En su configuración completa, el centro contaría con seis antenas de comunicaciones satelitales de telefonía y radio, y comunicaba zonas apartadas del país como el Amazonas o San Andrés. Las antenas convirtieron a Chocontá en “la ciudad satélite de Colombia” denominación que fortaleció el turismo en la zona, a donde por casi dos décadas se acercaban los curiosos para visitar y conocer las imponentes estructuras metálicas.

Acercándose al final del milenio, la actividad astronómica en el país continuaba en expansión. En 1991, se creó la Red de Astronomía de Colombia (RAC) con la misión de

propender por la representación de los intereses institucionales e individuales de los astrónomos profesionales, autodidactas, aficionados e instituciones, para contribuir a la promoción, comunicación y gestión del saber generado y desarrollado en el campo de la astronomía y las ciencias del espacio (RAC, 2019a, p. 4).

De esta forma, se buscaba la apropiación social de la ciencia y la tecnología para el país. Lo anterior, sumado a la creación de programas académicos de educación superior en áreas afines, como se ampliará más adelante en el capítulo, generaba optimismo, pues parecía que el interés general por las ciencias del espacio ya no tenía marcha atrás y que el camino hacia la consolidación de Colombia en estos temas estaba siendo abonado debidamente, aunque con poca articulación entre los diferentes focos de ese desarrollo y sin un decidido apoyo gubernamental.

En 2006 las cosas en ese último punto empezaban a cambiar al crearse por Decreto Presidencial la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) como un ente de consulta, coordinación y planificación de la política espacial nacional del país. Destaca por ese entonces el proyecto para la puesta en órbita del primer satélite colombiano, logrado en el 2007 por el Observatorio Astronómico de la Universidad Sergio Arboleda con el lanzamiento del satélite *Libertad 1*, y la creación del primer y único programa de pregrado en Astronomía del país por parte de la Universidad de Antioquia en el año 2007. Desde el punto de vista de adquisición de imágenes astronómicas, algunos observatorios, como el de la Universidad de Nariño, comenzaban a visibilizarse en el panorama internacional en el estudio de cuerpos menores como cometas y asteroides.

En años recientes, la comunidad de astrónomos profesionales en Colombia ha tenido un crecimiento significativo. Un número cercano a cuarenta investigadores que cuentan con doctorado y posdoctorado, realizan estudios en diversas líneas de investigación en astrofísica, entre las que se destacan: cosmología, evolución estelar y galaxias, astropartículas, agujeros negros, astrofísica solar, radioastronomía, astrobiología, astrofísica computacional, entre otras, con producción científica en revistas internacionales de alto impacto. Por su parte, fuera del país se encuentra una cantidad similar de estudiantes que están inmersos en estudios de doctorado en astronomía y astrofísica, en destacadas instituciones y universidades en Estados Unidos y Europa, principalmente. Ellos representan el sobresaliente interés y la pertinencia actual en profundizar en estas áreas del conocimiento.

En el 2015, y gracias a la notable participación de colombianos y su contribución en el panorama internacional, la comunidad nacional de astrónomos recibe con gran satisfacción la aprobación por parte de la Unión Astronómica Internacional (UAI) de su incorporación como miembro oficial durante la asamblea general de la organización realizada en Hawái. Esto marca un punto de inflexión que implica la responsabilidad de desempeñar satisfactoriamente los compromisos de calidad de la investigación y el continuo fortalecimiento de la formación de estudiantes y colaboraciones. Al año

siguiente, se asumió por primera vez la organización de varios eventos internacionales de la UAI en Colombia: Communicating Astronomy with the Public en el tema de difusión y comunicación de la astronomía en la sociedad, que tuvo lugar en Medellín; la XV Reunión Latinoamericana de la UAI (LARIM) (figura 3); un simposio en el área de astrofísica solar y, el primer Workshop de Astronomía para la Igualdad y la Inclusión, que tuvieron como sede a la ciudad de Cartagena de Indias y convocaron a cientos de astrónomos de más de 40 países. Los estudiantes colombianos fueron algunos de los más beneficiados y se pudieron establecer importantes lazos de colaboración entre instituciones e investigadores que han sido determinantes para su formación profesional.



*Figura 3. Reunión Latinoamericana de la Unión Astronómica Internacional que por primera vez tuvo lugar en Colombia (Cartagena de Indias) en octubre de 2016*  
Fuente: LARIM

En la actualidad, el país cuenta con alrededor de 25 observatorios astronómicos ubicados a lo largo del territorio, entre los que se incluyen los pertenecientes a instituciones de educación superior, colegios e iniciativas privadas.

Por otra parte, hay ocho planetarios ubicados en: Barranquilla (uno, perteneciente a la Caja de Compensación Familiar Combaranquilla); Bogotá (dos, Planetario Distrital de Bogotá -figura 4- y Planetario de la Universidad Sergio Arboleda); Bucaramanga

(uno, parte del complejo astronómico del Grupo Halley de la Universidad Industrial de Santander); Cali (uno, perteneciente a la Escuela Militar de Aviación); Cartagena (uno, perteneciente a la Escuela Naval Almirante Padilla, que además cuenta con el único calendario solar del país); Medellín (uno, que forma parte del Parque Explora -figura 5-) y, Pereira (uno perteneciente a la Universidad Tecnológica de Pereira).



Figura 4. Planetario de Bogotá  
Fuente: Revista Arcadia (2017)



Figura 5. Planetario de Medellín  
Fuente: Jiménez (2018)

Adicionalmente, existe un número significativo de planetarios portátiles (inflables). También, hay algunos lugares que ofrecen servicios de astro-turismo, entre los que se destacan el desierto de la Tatacoa en el departamento del Huila, y la zona general de Villa de Leyva en Boyacá. Estos últimos dos lugares acogen cada año, a través de sus festivales astronómicos, a miles de apasionados por el firmamento, tanto expertos como iniciados.

Pese a que la cultura astronómica en el país es mucho más sólida que hace tan solo dos décadas cuando comenzaba el siglo XXI, Colombia tiene aún un retraso notable en infraestructura para investigación y divulgación de la astronomía y ciencias del espacio. Casi exclusivamente en las grandes ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Pereira o Barranquilla, las personas tienen acceso a conocimiento de primera mano y a recursos adecuados para procurar su formación o profundización en estos temas. Hay grandes deficiencias en la financiación de proyectos, que afectan los esfuerzos e ideas individuales, dado que no logran encontrar los cimientos suficientes para establecer redes de cooperación con empresas o entidades gubernamentales que aseguren su continuidad y crecimiento, como sí se evidencia en muchos otros países

Es sabido que Colombia, al estar ubicada cerca de la zona ecuatorial terrestre, tiene una ventaja para la observación de la bóveda celeste, pudiéndose contemplar ambos hemisferios. Sin embargo, la observación astronómica, especialmente en el rango óptico, se ve perjudicada justamente por su ubicación en la Zona de Confluencia Intertropical, con situaciones meteorológicas adversas por la nubosidad debida a frentes de presión y confluencia de vientos alisios del norte y sur. Lo anterior, contrario a cerrar las opciones, abre nuevas y prometedoras posibilidades para desarrollar proyectos en campos tan diversos como la radioastronomía y desarrollo espacial, la ciencia de datos o las astropartículas, en donde el potencial de Colombia es enorme.

En esa dirección apunta el proyecto de recuperación de las antenas de Chocontá, para usarse en la recepción de ondas de radio de múltiples fuentes astrofísicas; un proyecto que involucra transversalidad entre diversas áreas del conocimiento, como la física y la ingeniería, generando un desarrollo multidimensional. Recientemente se construyó el primer radiointerferómetro colombiano (FiCoRI - First Colombian Radio Interferometer), el cual, junto con otras antenas en algunas universidades, da muestra del creciente interés en este tipo de desarrollos tecnológicos.

En los últimos años, las capacidades y los proyectos alrededor de la radioastronomía han crecido gracias al trabajo de varias universidades. En 2018 se realizó el Workshop Radioastronomía en Colombia organizado por la Universidad ECCI, en donde los investigadores directamente involucrados en temas de radioastronomía compartieron sus experiencias. Dentro del programa Radio Astronomy for Development in the Americas (RADA) Big Data, financiado conjuntamente entre el Reino Unido y MinTIC, se han realizado dos workshops en la ciudad de Medellín (2018 y 2019), en los que se hace énfasis en la importancia de la ciencia de datos y el potencial de desarrollo desde la astronomía, en particular, desde las investigaciones radioastronómicas.

Otro ejemplo es el proyecto que se desarrolla en la Universidad Industrial de Santander para monitorear estructuras geológicas como volcanes, utilizando detectores que captan el flujo de muones atmosféricos que atraviesan tales estructuras. Esta institución participa en la colaboración internacional Pierre Auger, el observatorio de rayos cósmicos más grande del mundo en el hemisferio sur.

Se tienen también espacios de encuentro académico para propiciar vínculos entre los profesionales colombianos que se desempeñan en el área de la astronomía y astrofísica dentro y fuera del país, así como un número importante de estudiantes desarrollando investigaciones en Astronomía, Astrofísica y Cosmología. El Congreso Colombiano de Astronomía y Astrofísica (CoCoA) es, desde el año 2010, el lugar de

reunión para reflexionar sobre el futuro de la astronomía colombiana a la luz de los avances que se ven en el resto de la comunidad astronómica mundial. Tiene igualmente entre sus objetivos, incentivar el interés de la sociedad por la astronomía como ciencia dinamizadora del desarrollo del país. En el año 2019 se realiza en Medellín la sexta versión del CoCoA, después de las que tuvieron lugar en Pereira (2017), Pasto (2014), Bucaramanga (2012), Bogotá (2010) y Medellín (2008).

En 2015, como una propuesta que surge desde la Universidad de los Andes, nace el Nodo Andino de Astronomía que reúne a seis países de la región (Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, Perú y Venezuela). Este nodo, oficialmente conocido como la Oficina Regional Andina de Astronomía para el Desarrollo (ANDEAN-ROAD) es uno de los nodos regionales distribuidos a nivel mundial y que son promovidos por la Oficina de Astronomía para el Desarrollo (OAD) de la UAI, en el marco de su Plan Estratégico 2010-2020 *Astronomy for the Developing World*. En este plan se establecen tres fuerzas denominadas Task Forces, para realizar actividades que usen la astronomía como herramienta que estimule el desarrollo. La Task Force 1 (TF1) se enfoca en astronomía para universidades e investigación; la TF2 en astronomía para niños y escuelas y, la TF3 en astronomía para el público. Como parte de las acciones para promover el intercambio de ideas y experiencias, facilitar las colaboraciones entre investigadores de la región y potenciar proyectos conjuntos, se desarrollan los Workshop de Astronomía en los Andes, cuya primera versión tuvo lugar en Bogotá en el año 2013, seguida por otra en la misma ciudad en 2015. La tercera edición, en la cual Colombia también participó activamente, se realizó en Perú en 2018.

Recientemente nació, de la mano de un grupo de estudiantes que realizan sus doctorados en el exterior, una asociación voluntaria de mujeres profesionales, denominada Colombianas Haciendo Investigación en Astrociencias (CHIA), que propende por la equidad de género y la inclusión en el ejercicio de la investigación en esta área. Su propósito es el de organizar diferentes actividades que motiven a las generaciones de astrofísicas colombianas, además de propiciar el crecimiento profesional de sus miembros a través de colaboraciones y acceso a información sobre múltiples oportunidades. Se espera que este tipo de acciones den como resultado una mayor participación de las mujeres en áreas científicas y tecnológicas, algo indispensable para la consolidación del panorama científico nacional.

A la fecha, Colombia cuenta con 30 miembros individuales en la UAI y se espera que este número crezca significativamente en los próximos años. Está aún lejos de países como Argentina (156 miembros) o España (401 miembros), lo cual refleja el largo

camino que se debe recorrer para lograr posicionarse en el panorama internacional. Para ello, se requiere el consenso de entidades gubernamentales que promuevan muchos de los proyectos que ya están tímidamente siendo desarrollados y que requieren de apoyo decidido.

La comunidad de astrónomos de Colombia (AstroCO) es un nodo asociado a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN), que une a toda la comunidad de astrónomos, astrofísicos, cosmólogos y egresados de áreas afines del país, cuyos miembros principales son los investigadores colombianos miembros de la UAI, y un comité técnico que tiene la responsabilidad de diseñar y construir estrategias de organización de la comunidad, así como la evaluación de proyectos académicos y científicos, procurando fortalecer la investigación.

## 2.2.4 Meteorología.

Los dos grandes referentes del empleo de ciencia y tecnología espacial en meteorología en Colombia son el IDEAM y la Fuerza Aérea Colombiana por intermedio de la Subdirección de Meteorología Aeronáutica (SUMET), dependencia orgánica de la Dirección de Navegación Aérea, que a su vez depende de la Jefatura de Movilidad del Comando de Operaciones Aéreas. Para este subapartado se contó con la información suministrada por dicha subdirección (Céspedes, 2019).

Conforme los adelantos en la aviación, la meteorología aeronáutica ha evolucionado a la par, para poder proporcionar información útil al planeamiento, desarrollo y análisis de las operaciones aeronáuticas. En tal virtud, la meteorología en la Fuerza Aérea Colombiana, aplicada a las operaciones aéreas, evoluciona desde la instalación en el año 1972 de las estaciones de captación de datos y observación en superficie por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT), hasta la fecha, con la adquisición de imágenes satelitales originadas en la órbita geoestacionaria.

Sobre esta capacidad espacial, la Fuerza Aérea Colombiana ha venido reduciendo de manera constante la brecha tecnológica en el empleo de imágenes de órbita geoestacionaria, si se tiene en cuenta que los experimentos con satélites en esta órbita comenzaron el 7 de diciembre de 1966 con el ATS-1 (Satélite de Aplicaciones Tecnológicas, ATS por sus siglas en inglés), el cual portaba un instrumento capaz de proveer imágenes continuas de la Tierra y otro instrumento que habilitaba la transmisión de datos desde y hacia las estaciones terrenas.

Tras seis lanzamientos de satélites ATS, el 17 de mayo de 1974 se realizó la puesta en órbita del primer satélite de la serie geosincrónica para el tiempo atmosférico, el SMS-1 Satélite Sincrónico Meteorológico (SMS, por sus siglas en inglés), el cual fue el primer satélite operacional capaz de detectar las condiciones meteorológicas para una ubicación determinada gracias a su posición orbital. El SMS-1, mediante su radiómetro de barrido infrarrojo visible, continuamente monitoreaba amplias áreas de la Tierra, obteniendo datos tanto diurnos como nocturnos, que eran recibidos y procesados por más de diez mil estaciones terrestres.

Al año siguiente, en octubre de 1975, se lanza al espacio el primer Satélite Operacional Ambiental de Órbita Geoestacionaria (GOES, por sus siglas en inglés) GOES-1, con un diseño casi idéntico y las mismas capacidades de los satélites SMS. El GOES-1 dio inicio a la evolución de esta tecnología, pasando por el GOES-4 que fue el primer satélite de esta clase en hacer mediciones de temperaturas y humedad, reemplazado a su vez por el GOES-7 el 28 de abril de 1987 que, además de lo anterior, incorporaba la capacidad de detectar las señales de emergencia en la frecuencia 406Mhz de las balizas a bordo de embarcaciones y aeronaves, para ser retransmitidas a las estaciones terrestres.

Para el año 1994, se lanza el GOES-8, que suministraba mejoras significativas dentro de una nueva generación de aeronaves con tres ejes y cuerpo estabilizado, en el cual los instrumentos de toma de imágenes y el de sondeo estaban separados, operando independientemente también. Lo anterior, permitió capturar imágenes de mayor resolución, además que se estableció operacionalmente al GOES como el sistema de búsqueda y rescate.

Siendo el año 2001, la Fuerza Aérea Colombiana incursiona en el empleo de tecnologías satelitales en la observación de la Tierra a través del GOES-8, por intermedio de tres estaciones terrenas adquiridas y ubicadas en los sitios que se determinaron como de carácter estratégico para combatir a las organizaciones armadas al margen de la ley. Gracias a esa tecnología, la FAC desarrolló productos meteorológicos que permitieron la optimización en la planeación, desarrollo y análisis de las operaciones aéreas que cumple dentro del marco de su misión de "ejercer y mantener el dominio del espacio aéreo, conducir operaciones aéreas para la defensa de la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional, el orden constitucional y el logro de los fines del Estado" (Fuerza Aérea Colombiana, 2019, p. 1).

A partir de ese momento, la FAC se benefició de las bondades de la tecnología satelital, que permite conocer prácticamente en tiempo real el estado de la atmósfera

para desempeñar su rol decisivo en la defensa de la nación; y en tal virtud, continuó explorando los desarrollos que en esta materia se presentaban, siendo consecuente con su visión de ser “una Fuerza desarrollada tecnológicamente, con el mejor talento humano y afianzada en sus valores, para liderar el poder aeroespacial y ser decisiva en la defensa de la nación” (Fuerza Aérea Colombiana, 2019, p. 1).

Durante ese año, 2001, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) lanza el 23 de julio desde Cabo Cañaveral el GOES-12, que fue el primer satélite en portar un sistema tipo instrumento de captura de imágenes de rayos X solares, siendo un adelanto tecnológico que llamó la atención de la FAC nuevamente y que además, teniendo presente la vida útil de los satélites y que su predecesor se encontraba en órbita desde 1994, motivó a que se iniciaran los estudios para poder acceder a esta tecnología en el menor tiempo posible. Fue así como para el año 2003 se inician las gestiones administrativas que permitieron la adquisición de tres estaciones terrenas que reemplazarían a las ya existentes del GOES-8, incorporando con ello una mejor resolución de imágenes, además de nuevos canales infrarrojos que aumentaban la capacidad de análisis de las condiciones atmosféricas.

Gracias al trabajo adelantado por un personal de oficiales y suboficiales especializados en meteorología que impulsaron la creación de productos meteorológicos aplicados, surge en la comunidad aeronáutica de la FAC la consciencia sobre la importancia de mantener esta capacidad de observar el estado de la atmósfera terrestre como insumo fundamental para el proceso de toma de decisiones integrado en las actividades operacionales propias de la Fuerza. Por lo anterior, la FAC continuó con las actualizaciones pertinentes para mantener esta facultad, que ha estado disponible para la Aviación de Estado, consolidándose la meteorología aeronáutica como una de sus capacidades distintivas.

En este ámbito se puede destacar también los trabajos que se han adelantado en conjunto con el IDEAM en el marco del convenio especial de cooperación, apoyo y asistencia técnica número 046 (FAC- Sistema de Información Meteorológica para Fuerza Pública y Aviación del Estado -SIMFAC-, 2019) suscrito entre ambas entidades, el cual para mayo de 2013, propició un plan de trabajo con el propósito de que personal de la FAC apoyase al IDEAM con la reorientación de las antenas que recibían la información del GOES-13, debido a las anomalías en funcionamiento que dicho satélite presentó entre septiembre y octubre de 2012 a causa de una falla que le impedía hacer seguimiento de las estrellas empleadas para mantener la posición, lo que llevó a que en mayo de 2013 se tuviese que emplear el GOES-14, ya en órbita, lo cual requería un re-direccionamiento de los re-

ceptores terrestres para contar con la información, trabajo que ya había sido adelantado con éxito en la FAC y que por ende, interesó a ese instituto.

Hoy en día, la FAC continúa disminuyendo el trecho tecnológico en la adquisición y aprovechamiento de capacidades satelitales empleadas por la SUMET, hasta el punto de disponer del último receptor de información geoestacionaria, cuyo satélite fue puesto en órbita en diciembre de 2017 como GOES-R, hoy conocido como GOES-16, en reemplazo del GOES-Este. Dicho sistema receptor fue adquirido durante el año 2018 y entregado en funcionamiento en febrero de 2019, fecha desde la cual la FAC se posiciona como pionera en las instituciones del país que disponen de esta información como lo son la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) y IDEAM.

La información así obtenida se encuentra disponible para la comunidad nacional y en particular para la Aviación de Estado, mediante el portal web [www.simfac.mil.co](http://www.simfac.mil.co) y en la aplicación para dispositivos móviles de navegación aérea. El SIMFAC es un importante proyecto de aplicación de ciencia y tecnología espacial en el cual trabaja la FAC al servicio, como ya se dijo, de la Aviación de Estado y la comunidad en general, además de proveerlo a usuarios de la Fuerza Pública y a otros como la UAEAC, el IDEAM y Universidades, por mencionar algunos.

Las bondades del GOES-16 son conocidas a nivel mundial por contar con las más altas características tecnológicas puestas en órbita geoestacionaria. Según la información suministrada por la NASA, sus capacidades van desde imágenes visuales e infrarrojas, mapeo cerámico (actividad de tormentas eléctricas), imágenes solares y monitoreo de clima espacial, entre otras. De las anteriores, hay que hacer énfasis en la resolución espacial y temporal de las imágenes que, gracias a sus 16 canales que transmiten imágenes de la atmósfera terrestre cada diez minutos, versus sus antecesores (cada 30 minutos), brinda la capacidad de poseer insumos para el desarrollo de productos útiles al país, reflejándose en: mejoras al seguimiento y pronóstico de intensidades de los huracanes, mayor antelación para emitir alertas de tormentas eléctricas y tornados, mejor identificación de nubes bajas y niebla, incremento en la seguridad aérea y en la planeación de rutas, facilidades para la generación de advertencias y alertas por la calidad del aire, mejor detección de fuegos y estimados de intensidad, superiores alertas de actividad solar que afecten las comunicaciones y navegación satelital, etc.

En la actualidad, la FAC adelanta la vinculación de esta información (imágenes satelitales), más imágenes radar, en sus modelos numéricos WRF (Weather Research Forecast) (National Center for Atmospheric Research NCAR, 2019), empleados para

la predicción del tiempo, buscando mayor precisión en los mismos y aportando a la seguridad operacional y la optimización del empleo de recursos aéreos y humanos.

Dicho proyecto situará a la FAC a la vanguardia en el país en cuanto a capacidades de predicción meteorológica en desarrollo del liderazgo que ejerce la Fuerza como Autoridad de Aviación de Estado, encargada del rol de la meteorología aeronáutica, con proyección a la meteorología espacial.

Tal desarrollo es importante no solo para la FAC, sino para la Aviación de Estado y, en general, para el país, al representar un salto cualitativo en los modelos y capacidades de predicción, pues permitirá interpolar los datos del modelo GFS (Global Forecast System) (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019), que es otro modelo numérico empleado para el pronóstico, pero de una escala mayor, que presenta debilidades en topografías con muchos accidentes geográficos como la colombiana en su zona andina, ya que no permite visualizar los valles y depresiones menores entre las cordilleras, lo que reduce de manera importante su precisión.

También se adelantan proyectos para la generación de más productos conforme a las capacidades del satélite GOES-16 como la detección de fuegos, deforestación, nieblas, etc. Finalmente, uno de los proyectos más visionarios en los que trabajan la FAC y la SUMET, es una aplicación de navegación aérea, que incorpora la información aeronáutica y de meteorología, la cual será presentada mediante visores 4D directamente en el campo de visión del piloto sin tener que desviar la vista hacia pantallas dentro de la cabina de la aeronave.

## 2.2.5 Navegación satelital.

La navegación satelital es una tecnología que mediante satélites artificiales configura un sistema que proporciona un posicionamiento geoespacial de manera altamente precisa. Dicho de otra forma, la tecnología de navegación por satélite genera y, mediante un receptor, permite obtener información de la posición en tres dimensiones respecto a un marco de referencia geográfico. Además de la información sobre ubicación/posición, los sistemas satelitales de navegación pueden proporcionar datos sobre la hora en el punto de localización del receptor con muy alta precisión, por lo que pueden contribuir en la sincronización de la hora en diferentes dispositivos y sistemas.

Mediante las señales de tiempo, distancia y dirección transmitidas, los receptores electrónicos diseñados para la navegación por satélite permiten determinar la ubi-

cación tridimensional específica con alta precisión. Sin embargo, la precisión de la posición requiere recibir señales de un mínimo de cuatro satélites. Los sistemas de navegación satelital capaces de proveer cobertura global (información en cualquier punto del planeta), se denominan sistemas de posicionamiento global por satélite o GNSS por sus siglas en inglés (Global Navigation Satellite System) (European Global Navigation Satellite Systems Agency –European- GSA, 2019) y constan de constelaciones de satélites que operan de manera sincronizada en un plano orbital fijo (que oscila entre los 19.000 y los 23.000 kilómetros de altura sobre la superficie terrestre dependiendo de la constelación, los cuales operan en conjunto con una red de estaciones terrenas de control y los receptores que, mediante sofisticados algoritmos, realizan el proceso de triangulación miles de veces por segundo para determinar la posición con gran precisión. El receptor electrónico analiza el tiempo y la distancia que la señal de cada uno de los satélites en su campo de detección tomó, para alcanzar la antena del receptor del usuario y la compara con la información del momento preciso en el cual la señal fue emitida, así como la posición en que se encontraba la fuente (satélite). Al comparar las señales de cuatro o más satélites, calcula la ubicación geográfica con una precisión que en condiciones ideales no debería exceder de los tres metros; sin embargo, debido a diferentes factores tales como perturbaciones atmosféricas, obstáculos físicos, debilidades de diseño y calidad de los receptores, entre otras, dicha precisión puede variar hasta decenas y centenas de metros.

En teoría, el cuarto satélite en el sistema de navegación ayuda a eliminar la ambigüedad de la distancia involucrada en el caso de tres satélites. De hecho, cuantos más satélites estén involucrados en un sistema de navegación por satélite, mayor será la precisión que se pueda alcanzar. A diferencia del año 2000 cuando solo existía un GNSS completo, denominado GPS (Global Positioning System) o Sistema de Posicionamiento Global de propiedad de los Estados Unidos, en la actualidad ya se cuenta con otras tres constelaciones GNSS: la europea Galileo (European GSA, 2019), la Glonass de Rusia (GPS.Gov, 2019) y la Beidu de China (BeiDou Navigation Satellite System, 2019). Muchos receptores modernos en aviones, vehículos terrestres y marítimos, y en teléfonos inteligentes, incorporan receptores multi-constelación, lo que incrementa mucho más su precisión.

Los sistemas de navegación por satélite son más precisos que otras opciones de navegación. Al ser sistemas de transmisión basados en señales de radio, un número ilimitado de personas pueden usarlos infinitas de veces, independientemente de la ubicación. Los sistemas de posicionamiento por satélite se han convertido en una herramienta indispensable en la navegación aérea al permitir incrementar la seguridad

y la eficiencia en vuelo. Ello ha llevado a la implementación gradual de la metodología de manejo del espacio aéreo denominada navegación de área, la cual le permite a una aeronave volar la ruta más corta entre dos puntos sin tener que seguir las aerovías establecidas, a diferencia de la denominada navegación en ruta que se basa en el antiguo sistema de aerovías y emplea estaciones en tierra que emiten una señal para que sea detectada y procesada por los sistemas de navegación tradicionales. La navegación en ruta sigue vigente, pero históricamente el sistema de aerovías se ha visto limitado muchas veces para la ubicación de los transmisores, por las condiciones o accidentes geográficos, por consideraciones económicas que afectan su ubicación en números limitados en un territorio dado, e incluso por consideraciones sociales y ambientales en cuanto a no afectar núcleos poblacionales o zonas naturales frágiles o reservadas.

Los antecedentes de la navegación satelital se remontan a la Décima Conferencia de Navegación Aérea de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) por sus siglas en inglés (ICAO, 2019a), que se realizó en 1991 en Montreal, Canadá y la cual avaló los conceptos Comunicaciones, Navegación, Vigilancia y Gestión del Tránsito Aéreo (ICAO, 2019b), reconociendo que a nivel mundial, la tecnología satelital podría superar las deficiencias del actual sistema de navegación aérea y satisfacer las necesidades y requisitos de la aviación civil internacional en un futuro previsible (UAEAC, 2009).

Colombia, a través de la Unidad Administrativa Espacial de Aeronáutica Civil (UAEAC), máxima autoridad aeronáutica del país, avanza desde hace años en la investigación e implementación de la navegación satelital con la meta de que la navegación aérea se convierta, con el paso del tiempo, en el sistema primario de administración del espacio aéreo nacional, acorde con los avances en el ámbito internacional.

Los primeros progresos concretos para la implementación de la navegación satelital se hallan en el año 1996 cuando la Aeronáutica Civil estableció, mediante la expedición de la AIC C04 del 12 de septiembre de ese año, los criterios operacionales de utilización del sistema de posicionamiento global (GPS) dentro del espacio aéreo colombiano como un medio suplementario a la navegación en ruta. En la actualidad, se continúa con el diseño e implementación de la metodología de navegación aérea para gradualmente adquirir la capacidad plena de navegar en cualquier lugar del país, basándose principalmente en tal sistema de manejo y organización del espacio aéreo.

## 2.2.6 Telecomunicaciones y espectro electromagnético.

El máximo ente rector de las telecomunicaciones en el país es el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), el cual su vez cuenta con la Agencia Nacional de Espectro (ANE) como Unidad Administrativa Especial adscrita, con la misión de

administrar de manera eficiente el espectro radioeléctrico por medio de la planeación, atribución, vigilancia y control del mismo; la generación y divulgación del conocimiento; la gestión internacional y el relacionamiento con los grupos de interés, a través de un equipo humano competente y de herramientas tecnológicas idóneas (ANE, 2019).

Para este subpartado el Ministerio de las TIC aportó la siguiente información respecto al estado actual de la aplicación y empleo en Colombia de la tecnología satelital en el área de telecomunicaciones (MinTIC, 2019):

De acuerdo a los principios orientadores consagrados en la Ley 1341 de 2009, la investigación, el fomento, la promoción y el desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones son una política de Estado que involucra a todos los sectores y niveles de la administración pública y de la sociedad, para contribuir al desarrollo educativo, cultural, económico, social y político e incrementar la productividad, la competitividad, el respeto a los derechos humanos inherentes y la inclusión social. Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones deben servir al interés general y es deber del Estado promover su acceso eficiente y en igualdad de oportunidades, a todos los habitantes del territorio nacional. Entre estos principios orientadores se encuentra la Prioridad al acceso y uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. El Estado y en general todos los agentes del sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones deberán colaborar, dentro del marco de sus obligaciones, para priorizar el acceso y uso a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la producción de bienes y servicios, en condiciones no discriminatorias en la conectividad, la educación, los contenidos y la competitividad. Es por ello que el Gobierno, en cabeza del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, adelantará una reestructuración de los programas de acceso universal en zonas rurales, para garantizar el funcionamiento de los nuevos proyectos en el mediano y largo plazo. El propósito del Gobierno es implementar un nuevo programa de Conectividad

Social, con enfoque en la sostenibilidad de largo plazo, y en el que se realizará una transformación de los actuales centros de acceso comunitario rurales conocidos como Kioscos Digitales. El proceso será a través de una nueva oferta de acceso universal, la cual comprende esquemas que promueven el uso de tecnologías costo-eficientes (satelitales y/o terrestres), la participación del sector privado y la agregación de la demanda en el largo plazo, permitiendo así hacer un uso eficiente de los recursos públicos, garantizando también el funcionamiento en el largo plazo, y maximizar el impacto social en las zonas rurales. Adicionalmente a lo anterior, este Ministerio ha adelantado mesas de trabajo para definir el nuevo esquema de contraprestaciones que deben pagar los proveedores de capacidad satelital por el uso del espectro radioeléctrico asociado a la capacidad satelital. Asimismo, este Ministerio está trabajando en la actualización normativa referente a los proveedores de capacidad satelital, cuyo marco normativo actual es la Resolución 106 de 2013, y en la cual se establecen las condiciones y requisitos para la obtención del registro de proveedor de capacidad satelital y se dictan otras disposiciones. En este registro se encuentran incorporados cerca de 70 proveedores de capacidad satelital, que pueden ofrecer la capacidad de satélites de 16 operadores satelitales. Por otra parte, en el marco de la Comunidad Andina de Naciones (CAN) Colombia y los países de la región Andina firmaron un contrato de concesión de la posición orbital 67° Oeste entre la CAN y la compañía operadora de satélites SES World Skies, por 35 años. Como contraprestación de esta concesión Colombia dispone de 18 MHz de ancho de banda en el satélite SES-10, los cuales están siendo utilizados para suplir las necesidades de entidades del Gobierno Nacional (pp. 2-3).

En cuanto a las oportunidades para Colombia en el campo de la tecnología satelital en telecomunicaciones, el Ministerio conceptúa (MinTIC, 2019):

El Internet es el habilitador fundamental del desarrollo social y una herramienta estratégica para países como Colombia, con la que cualquier colombiano tiene acceso a información de la mayor actualidad y el uso de las aplicaciones, servicios y contenidos, los cuales tienen incidencia directa en la construcción de conocimiento, bienestar en la sociedad y generación de nuevos modelos de negocio, aumentando el capital humano y la productividad, que se traduce en el crecimiento de la economía. La posibilidad de enviar mensajes de texto es en sí mismo revolucionario y cambió la forma en que nos comunicamos, pero el impacto de Internet va mucho más allá. Pensemos en la situación de un estudiante o un emprendedor, interesado en conocer los últimos desarrollos sobre determinado modelo de negocio. Hace 50 años el flujo de información estaba

focalizado en material impreso. Esto implicaba canales de acceso, costos y tiempos de entrega que resultaban excluyentes para la mayoría de colombianos. Hoy, gracias a Internet, ese estudiante o emprendedor tiene el mismo acceso abierto que tienen otras personas en cualquier parte del mundo. Por ejemplo, el DNP estima que un incremento en la velocidad promedio de 1 Mbps contribuye en un incremento del 1,6 % del PIB per cápita. En este caso, hay que tener en cuenta que la conectividad es una herramienta para avanzar hacia la equidad y la igualdad social en el país. Por este motivo, mayor disponibilidad de información se refleja en la disminución de los índices de corrupción y promueve la transparencia y la legalidad. No obstante, cerca de la mitad de la población colombiana carece de acceso a Internet. Razón por la cual nuestro mayor empeño es llevar esas oportunidades que se generan gracias a la transmisión de información. Por esto debemos conectar a todos los colombianos. De lo anterior, se puede concluir que las oportunidades que pueden ofrecer para Colombia las tecnologías satelitales en telecomunicaciones son muy grandes, dado que las mismas por sus áreas de cobertura y velocidades de transmisión de datos, pueden ofrecer Internet a todos los colombianos, especialmente a la población de bajos recursos y ubicada en zonas rurales, ayudando así a cerrar la brecha digital (pp. 3-4).

## 2.2.7 Observación de la Tierra.

En Colombia, muchas entidades y organizaciones, tanto públicas como privadas, emplean tecnología espacial y sensoramiento remoto para obtener información del territorio y superficies marítimas a fin de conocer, estudiar, monitorear y proyectar las condiciones y empleo de las superficies terrestres y marinas del país. Información por medio de la cual se realiza ciencia, investigación, monitoreo, desarrollo de algoritmos y aplicaciones, planificación territorial, etc., por parte de entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, la Fuerza Aérea Colombiana y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, que tienen capacidades propias, adquieren de proveedores internacionales o acceden a fuentes gratuitas, para adquirir la información geoespacial y la cual, en muchos casos, intercambian entre sí en desarrollo de convenios interinstitucionales.

Por ser la entidad líder y principal responsable de la generación, manejo y suministro de información geoespacial en el país, a continuación, se transcribe el aporte al presente trabajo por parte del IGAC y su Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica (CIAF) (IGAC-CIAF, 2019).

## 2.2.7.1 Entidades u organizaciones nacionales e internacionales de apoyo para la obtención, uso y difusión de la información geoespacial y otra información basada en tecnologías espaciales.

El IGAC es un referente en temas geoespaciales reconocido por su labor misional, así como por su capacidad académica en esa disciplina, que brinda sus servicios a nivel nacional como también en Centro y Suramérica por medio de la oficina CIAF.

En desarrollo de lo anterior, el IGAC ha suscrito contratos nacionales e internacionales para obtener, intercambiar, impartir y socializar información geoespacial, que pueda ser de beneficio para las partes firmantes de los convenios. A la fecha, el IGAC tiene suscritos aproximadamente 30 convenios internacionales, entre los que se pueden mencionar los siguientes con sus respectivos objetivos generales:

1. Intercambio de productos, datos, materiales y técnicas, para la coproducción de datos geográficos, procesos de estandarización, y desarrollos cartográficos, geodésicos y geofísicos, suscrito con la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.
2. Generación de la edición del modelo digital de superficie para el territorio colombiano, y de un 35% del territorio venezolano con una resolución espacial de 12 metros, en el marco del Programa TReX (TanDEM-X High Resolution Elevation Data Exchange), suscrito con la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA), Airbus Defence and Mapping y el Centro de Información Geoespacial de las Fuerzas Armadas Federales de Alemania (ZgeoBw por sus siglas en alemán) (figura 6). Este proyecto permitirá que Colombia cuente con insumos cartográficos de mayor precisión que contribuyen a la toma de decisiones más acertadas a la hora de planear el territorio y poner en marcha los programas y modelamientos de los fenómenos naturales.

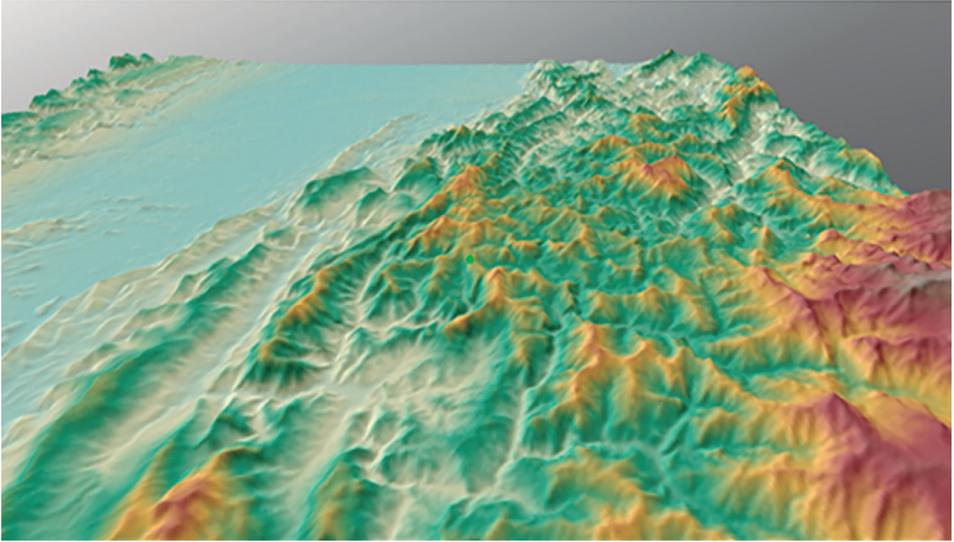
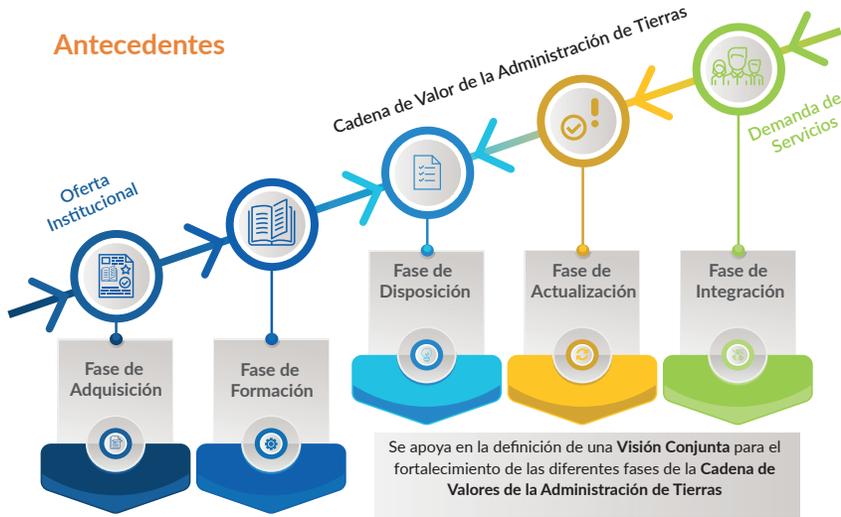


Figura 6. Ejemplo de resultados modelo digital de superficie. Programa TREX  
Fuente: IGAC-Subdirección de Geografía y Cartografía

3. Proveer apoyo al proyecto binacional Colombia-Suiza para la modernización de la administración de tierras en Colombia, a través de la asistencia técnica a las entidades con competencia en la implementación del catastro multipropósito y establecer así las bases conceptuales y tecnológicas para una exitosa realización de la visión del país en materia de una eficaz administración de tierras. Teniendo las siguientes metas específicas: a) brindar apoyo a la definición del sistema de administración de tierras del país y a la construcción del Nodo de Administración de Tierras en el marco de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE); b) apoyar al desarrollo e implementación de la visión del rol del agrimensor certificado y técnico catastral; c) apoyar el desarrollo de los proyectos pilotos de catastro multipropósito liderados por el DNP; d) brindar apoyo al proceso de delegación de competencias en materia catastral e implementación de catastros multipropósitos descentralizados; e) brindar apoyo al mejoramiento de la interrelación entre el Catastro y Registro; f) brindar apoyo al desarrollo del sistema y marco de referencia geodésico aplicado a la administración de tierras (figura 7). El Proyecto para la Modernización de la Administración de Tierras en Colombia es fruto de un convenio suscrito entre la Confederación Suiza representada por la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos (SECO) y Colombia, representada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD), la Agencia Nacional de Tierras (ANT),

la Superintendencia de Notariado y Registro (SNR), el Departamento Nacional de Planeación (DNP), y la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia (APC-COLOMBIA).



Sistema de Administración de Tierras e IDE-AT: Trabajo conjunto entre IGAC y la Agencia de Implementación "Proyecto modernización de administración de tierras en Colombia"

Figura 7. Antecedentes Sistema Administración de Tierras – Colombia  
Fuente: Agencia de Implementación, Cooperación Suiza

4. Desarrollar un aplicativo web que permita realizar un seguimiento en tiempo real y detallado del estado de avance en el cumplimiento de las solicitudes de la Unidad de Restitución de Tierras en la etapa administrativa, de las solicitudes de los jueces y magistrados en el periodo probatorio de la etapa judicial, del cumplimiento a los fallos proferidos en los procesos de restitución de tierras y de la participación del IGAC en los comités de alto nivel y de justicia transicional. Con los siguientes objetivos específicos: a) realizar un seguimiento a las solicitudes de información por parte de la Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas a nivel nacional y sus respectivas respuestas; b) hacer seguimiento a las solicitudes de información y/o solicitudes de peritajes por parte de los juzgados y/o tribunales especializados en restitución de tierras a nivel nacional y sus respectivas respuestas; c) hacer seguimiento a la participación del Instituto en los espacios de articulación interna e interinstitucional en el marco de la Política Integral de Tierras. Dicho convenio, fue escrito con la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés) en el Programa de Intercambio y Gestión de la Información.

5. Adelantar un programa regional de adiestramiento en el uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica para la evaluación de los recursos naturales, programa que se viene desarrollando en el IGAC en la anterior subdirección de docencia e investigación, hoy CIAF, con el apoyo del gobierno en beneficio de los países latinoamericanos miembros del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
6. Vincular al IGAC, a través de su oficina CIAF al programa ONU-SPIDER, como Oficina Regional de Apoyo (figura 8), sirviéndose de la tecnología espacial para la gestión de desastres; programa suscrito con la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA por sus siglas en inglés). En el marco de este convenio, el IGAC promueve en Colombia el uso de información obtenida desde el espacio para distintos propósitos y brinda apoyo a ONU-SPIDER en las actividades que realiza en América Latina y el Caribe. Como Oficina Regional de Apoyo, IGAC ofrece expertos a ONU-SPIDER para su asesoría técnica a países de la región con el objetivo de contribuir en los esfuerzos de fortalecimiento de capacidades. El IGAC desarrolla y provee información y conocimientos relacionados con cartografía, agrología, catastro, geografía y tecnologías geoespaciales. Apoya los procesos de planificación y el desarrollo integral del país. Dada su experiencia en el ámbito geográfico, el Instituto tiene un fuerte componente que le permite desarrollar productos temáticos en el ámbito de la gestión de riesgos y la respuesta en caso de emergencias o desastres.





*Figura 8. Procesos de capacitación en el uso de tecnologías geoespaciales como apoyo a la gestión del riesgo de desastres, en el marco del programa ONU-SPIDER*  
Fuente: IGAC – ONUSPIDER. Misión Perú Ecuador. 2019

7. Cooperar institucionalmente en el marco de los programas de la Comisión Colombiana del Espacio del IGAC y del Plan Especial Nacional de la República Argentina, impulsando en ambos países el desarrollo de la capacidad para transformar la información espacial en productos de alto valor transferible a distintos sectores de sus respectivas sociedades, suscrito con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de la República Argentina (CONAE).
8. Diseño, desarrollo y difusión de proyectos conjuntos y otras acciones de cooperación en el ámbito de las ciencias geográficas, especialmente en los aspectos de I+D, suscritos con la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Ministerio de Fomento del Reino de España.
9. Proporcionar a los participantes de Latinoamérica la oportunidad de mejorar sus conocimientos y técnicas en el campo de los sistemas de planificación urbana y mecanismos de gestión del suelo suscrito con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA por sus siglas en inglés).
10. Incrementar el conocimiento de autoridades de alto nivel, personal técnico y de los ciudadanos en la región mesoamericana en cuanto al probable riesgo de desastres, considerando escenarios causados por el cambio climático, suscrito con el Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (CENAPRED) y el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC).

11. Fortalecer los lazos de cooperación internacional técnica existentes entre las partes, generando acciones necesarias que permitan llevar a cabo la firma de un futuro convenio marco de cooperación internacional, en el que, dependiendo de la disponibilidad presupuestal, de personal y equipo, se desarrollen actividades de intercambio de información, experiencia y proyectos conjuntos en temas generales, suscrito con el Instituto Geográfico Nacional José Joaquín Hungría Morell de República Dominicana.
12. Asesoría en técnicas y procedimientos para la ejecución de los levantamientos de suelos a escala 1:50.000, suscrito con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (MAGA).
13. Implementar una herramienta metodológica para monitoreo y seguimiento de los ecosistemas marino-costeros en Colombia, así como el fortalecimiento de las técnicas para el uso de datos de radar en el ambiente terrestre en México, suscrito con la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) (figura 9).

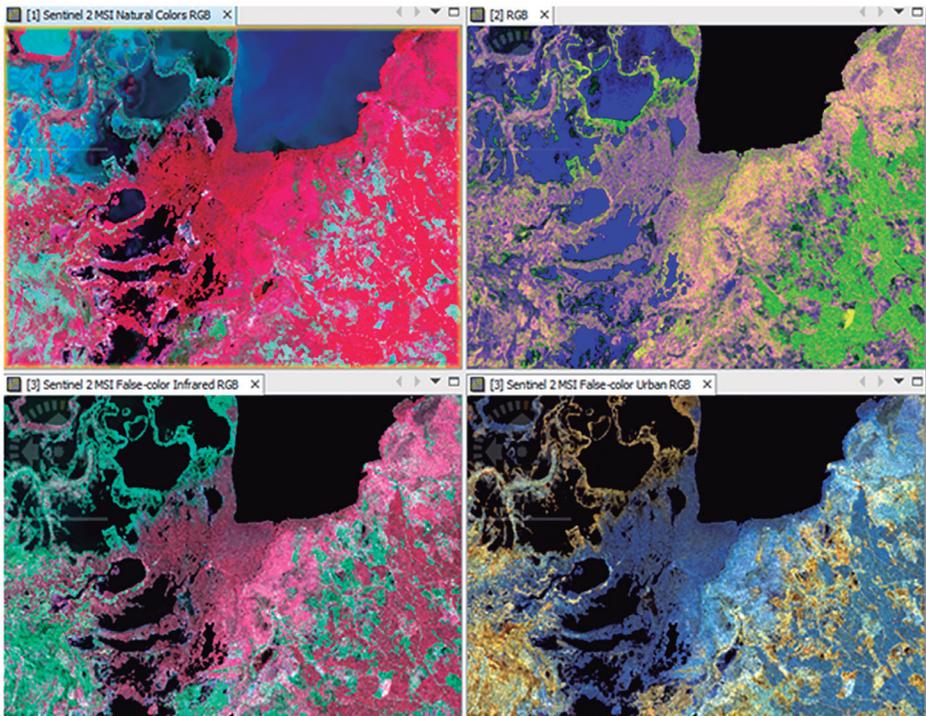


Figura 9. Proyecto de fortalecimiento de los sistemas de monitoreo de cambios en ecosistemas marino-costeros y de manglar para Colombia-México

Fuente: IGAC-CIAF

14. Fortalecer las capacidades normativas, técnicas y metodológicas del Instituto Geográfico Nacional José Joaquín Hungría Morell (IGN-JJHM), enfatizando en los procesos de planificación institucional de Infraestructura de Datos Espaciales de República Dominicana (IDE-RD), a partir de la experiencia de Colombia, suscrito con el IGN-JJHM de República Dominicana.
15. Aunar esfuerzos técnicos y administrativos para el desarrollo conjunto de proyectos y actividades tendientes a la generación de información, insumos y herramientas que permitan fortalecer los procesos de toma de decisiones sectoriales y ordenamiento territorial del país, suscrito con la Organización No Gubernamental The Nature Conservancy.
16. Establecimiento del marco general de colaboración entre las partes, en el ámbito de ciencia y tecnología, especialmente enfocado a mejorar las líneas de producción en materia de geodesia, cartografía, geoinformación, fotogrametría y teledetección, asistencia técnica recíproca, trabajos y servicios concretos, que pueden redundar en el mejor aprovechamiento de los medios que dispongan o puedan disponer las partes, suscrito con el Instituto Cartográfico de Catalunya, España.
17. Realizar el intercambio de estudiantes, personal y experiencias en los campos de la docencia y la investigación en aquellas áreas que serán fijadas de común acuerdo, suscrito con la Universidad Politécnica de Madrid, España.

El IGAC emplea imágenes del territorio colombiano obtenidas de diferentes sensores remotos. Algunas de ellas son adquiridas con la modalidad de multilicencia, teniendo presente que la Vicepresidencia de la República y la Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Espacio, firmaron el Acuerdo No. 8 del 14 de febrero de 2008, con el fin de consolidar la promoción del acceso y uso de imágenes de sensores remotos a través del Banco Nacional de Imágenes (BNI), el cual es administrado por el IGAC (figura 10).

Dichas imágenes son dispuestas para ser empleadas de manera libre por las entidades del Estado a través del Banco Nacional de Imágenes y cuentan con resoluciones adecuadas para la producción de cartografía básica a escalas 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, y 1:25.000. Asimismo, para sus múltiples estudios e investigaciones, el IGAC emplea también imágenes de descarga libre y resolución espacial media de programas tales como Landsat (NASA y Servicio Geológico de los Estados Unidos), y Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), imágenes de sus satélites Sentinel 1 y 2 (figura 11). También se han utilizado datos e imágenes MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para algunas aplicaciones específicas orientadas al estudio de las variaciones de los índices de vegetación en el país.



Figura 10. Acceso Banco Nacional de Imágenes (BNI)  
Fuente: <http://www.bni.gov.co/portal/public/classic/>



Figura 11. Muestras de imágenes Sentinel 2 y Landsat 8, utilizadas en proyectos de investigación del IGAC-CIAF. a. Imagen Sentinel - zona en el Departamento del Meta, b. Imagen Landsat 8 - zona en el departamento de La Guajira  
Fuente: IGAC-CIAF

De manera semejante, el IGAC cuenta con su propio sistema de cámara digital (figura 12), el cual permite adquirir imágenes de alta resolución, que se disponen en el Banco Nacional de Imágenes, para que sean empleadas por las diferentes entidades del Estado colombiano, la academia y también los particulares, por medio de su área de ventas. Estas imágenes son obtenidas mediante su plataforma aérea, que en la actualidad se trata de una aeronave de ala fija Turbo Commander Rockwell 690A de matrícula HK-1771-G (figura 13).

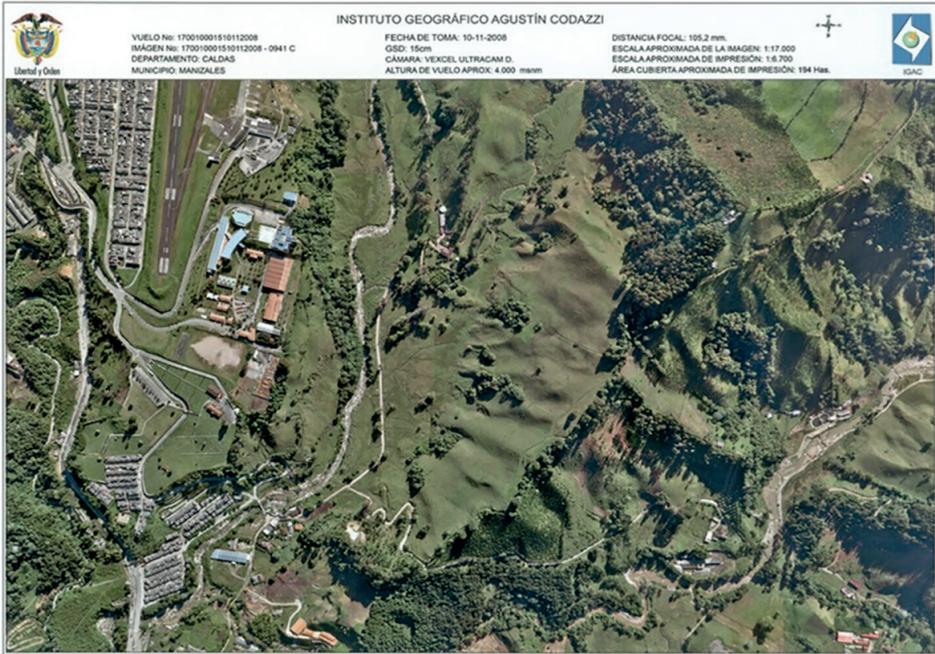


Figura 12. Fotografía aérea digital-Ultracam Vexcel  
Fuente: IGAC



Figura 13. Avión del IGAC-Plataforma para Ultracam Vexcel  
Fuente: IGAC

El IGAC también cuenta con aerofotografías históricas, cuya captura se realizó entre los años 1945-2007 mediante cámaras análogas y que han sido pasadas por escáner fotogramétrico, para garantizar las precisiones radiométricas y geométricas (figura 14).



Figura 14. Fotografía aérea análoga-Bogotá, centrada sobre ciudadela Universidad Nacional  
Fuente: IGAC

## 2.2.7.2 Proyectos de investigación del Centro de Investigación y Desarrollo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el uso y aplicación de las tecnologías de observación de la Tierra.

Dentro de las funciones que realiza el IGAC, específicamente su oficina Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), está la de

dirigir y coordinar los planes, programas y proyectos de investigación y desarrollo, los estudios sobre nuevas metodologías, sistemas y procedimientos para el manejo de la información geográfica y cartográfica, agrológica y catastral, fomentar la producción técnica y científica en el Instituto y canalizar su difusión, en el marco del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2004, p. 7).

Bajo estas funciones, el CIAF ha venido trabajando de manera conjunta con las diferentes áreas misionales en la consolidación de un marco de investigación, desarrollo e innovación, que le permita al IGAC generar nuevas metodologías direccionadas a los procesos misionales y, por otra parte, adelantar investigaciones específicas en el uso de tecnologías geoespaciales en temas de vanguardia para el país. Es así como el CIAF se consolida como un centro de investigación reconocido por Colciencias en el año 2018, cuyos objetivos estratégicos se centran en incrementar el desarrollo de proyectos de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) para la producción, el uso y aplicación de la información geográfica de la mano del fortalecimiento de la transferencia del conocimiento en tecnologías geoespaciales en diferentes temáticas geográficas, que respondan a las necesidades de las áreas misionales del IGAC y al sector externo. Para poder adelantar estas actividades, el CIAF se soporta en sus diferentes equipos de trabajo, junto con los grupos de investigación del IGAC, en los cuales recae todo el proceso de I+D+i de la entidad. A continuación, se hace una breve reseña de las investigaciones y trabajos realizados o en desarrollo, donde se evidencia la fuerza investigativa del IGAC en temáticas geoespaciales.

En los últimos años se ha dado un desarrollo sin igual en la ciencia y tecnología espacial, lo que ha permitido a la sociedad tener al alcance un mayor número de recursos de fotografías aéreas e imágenes satelitales que puedan ayudar a entender la conformación y el uso del territorio. Amparados en el acceso a esta información, desde el CIAF se han desarrollado proyectos de I+D+i en cuatro líneas temáticas prioritarias

para el desarrollo del país: aplicaciones ambientales, gestión del riesgo, tecnologías y algoritmos, uso y aplicaciones de datos de plataformas aéreas no tripuladas (ART). En las aplicaciones ambientales se cuenta con investigaciones ya publicadas centradas en el monitoreo de cultivos ilícitos y minería utilizando imágenes de sensores remotos (figura 15), dotados de diferentes índices espectrales y técnicas de fusión de imágenes para la detección de zonas mineras a cielo abierto, en alta (UltraCam-D y Rapid Eye) y mediana resolución (Landsat 8 LDCM).

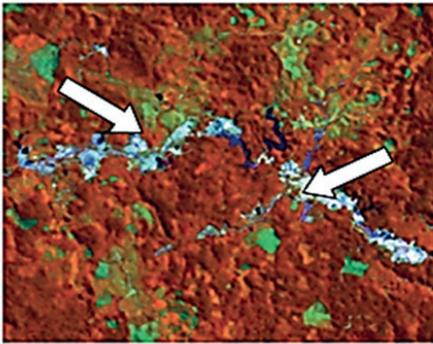


Imagen Landsat 8 955 20140617, RGB (5, 6, 4)  
Municipio de Zaragoza

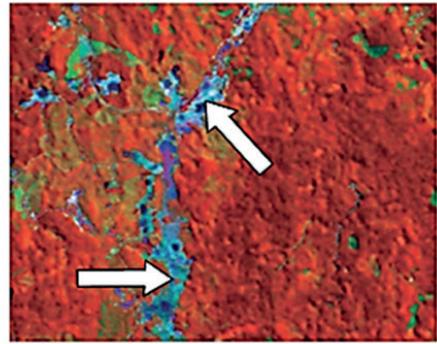


Imagen Landsat 8 955 20140617, RGB (5, 6, 4)  
Municipio de Zaragoza

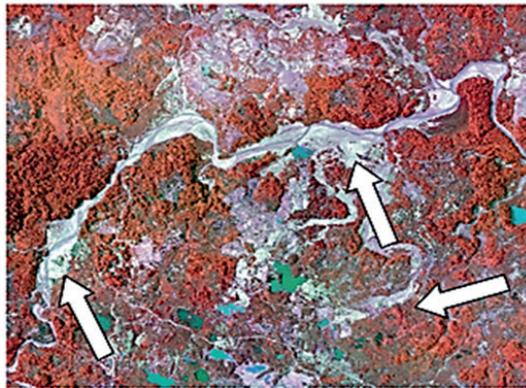


Imagen UltraCam-D 2011, RGB (4, 3, 1)  
Municipio de Zaragoza

Figura 15. Ejemplo de uso de imágenes de sensores remotos en la identificación de zonas de minería a cielo abierto  
Fuente: Castellanos (2018, p. 113)

Otra aplicación en esta temática consistió en generar una metodología de uso de imágenes de sensores remotos para el levantamiento físico de apoyo a los avalúos ambientales, con lo cual se buscaba identificar y caracterizar aquellas áreas de impor-

tancia que desde el punto de vista ambiental (figura 16) se convierten en un elemento determinante del valor del predio.

## Índice de Calidad Ambiental - Landsat TM

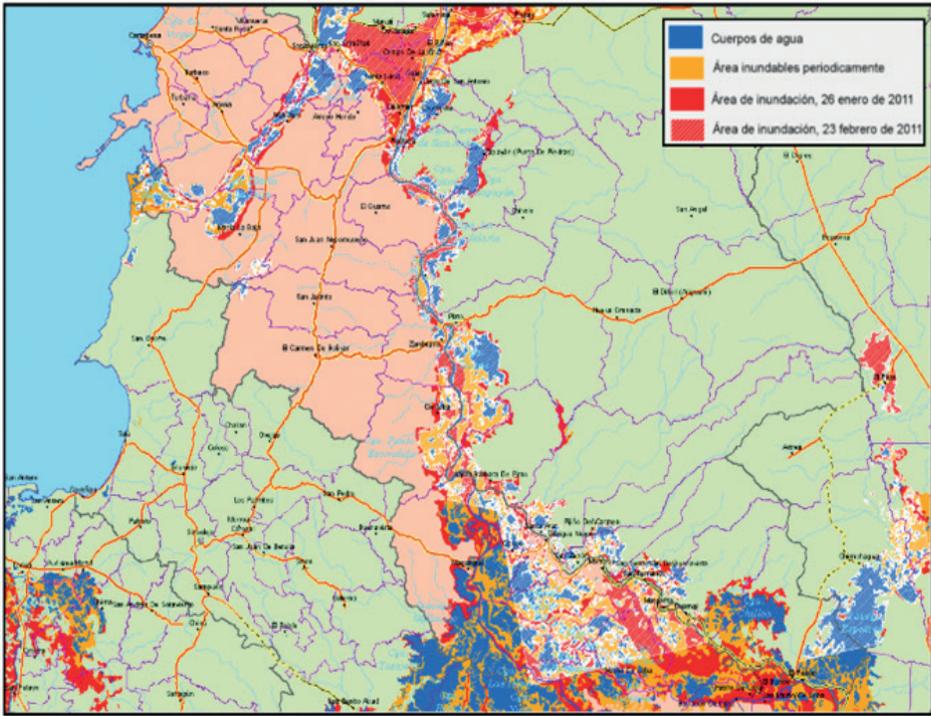


Figura 16. Obtención de un índice de calidad ambiental a partir de imágenes de sensores remotos para la evaluación de su impacto en el avalúo catastral.

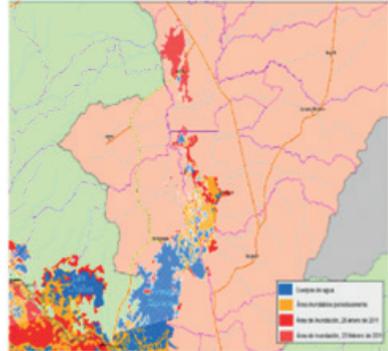
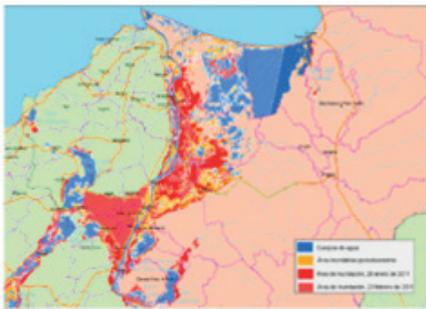
Fuente: CIAF

En la gestión del riesgo, el IGAC-CIAF ha venido trabajando en los últimos años en diferentes áreas como la generación de metodologías aplicables en la caracterización de amenazas naturales y antrópicas, tales como inundaciones, seguías, incendios forestales, deslizamientos en masa y avenidas torrenciales.

Respecto a esto hay tres temas importantes para destacar: el primero, está asociado con la metodología desarrollada por el CIAF para el análisis de las inundaciones generadas por el fenómeno de La Niña 2010-2011, en el que se evidenció la magnitud del evento y las afectaciones a lo largo del territorio nacional (figura 17).



### 3. Monitoreo Departamento del Magdalena 3. Monitoreo Departamento del Cesar



- Cuerpos de agua
- Áreas inundables periódicamente
- Áreas de inundación, 26 enero de 2011
- Áreas de inundación, 23 febrero de 2011

Figura 17. Ejemplo de análisis de inundación a partir de tecnologías geoespaciales, fenómeno La Niña 2010-2011  
Fuente: IGAC

Segundo, IGAC como Oficina de Apoyo Regional del Programa ONU-SPIDER de Naciones Unidas (Plataforma de las Naciones Unidas de información obtenida desde el espacio para la gestión de desastres y la respuesta de emergencia), ha venido trabajando en asesoría técnica y capacitación en el uso de tecnologías geoespaciales en temas de inundaciones, seguías e incendios forestales.

Tercero, en el marco del proyecto de actualización de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), el IGAC, junto con el Servicio Geológico Colombiano (SGC), desarrolló una metodología para la evaluación de las amenazas y riesgos para el municipio de Villavicencio, la cual es replicable en otros municipios de Colombia (figura 18).

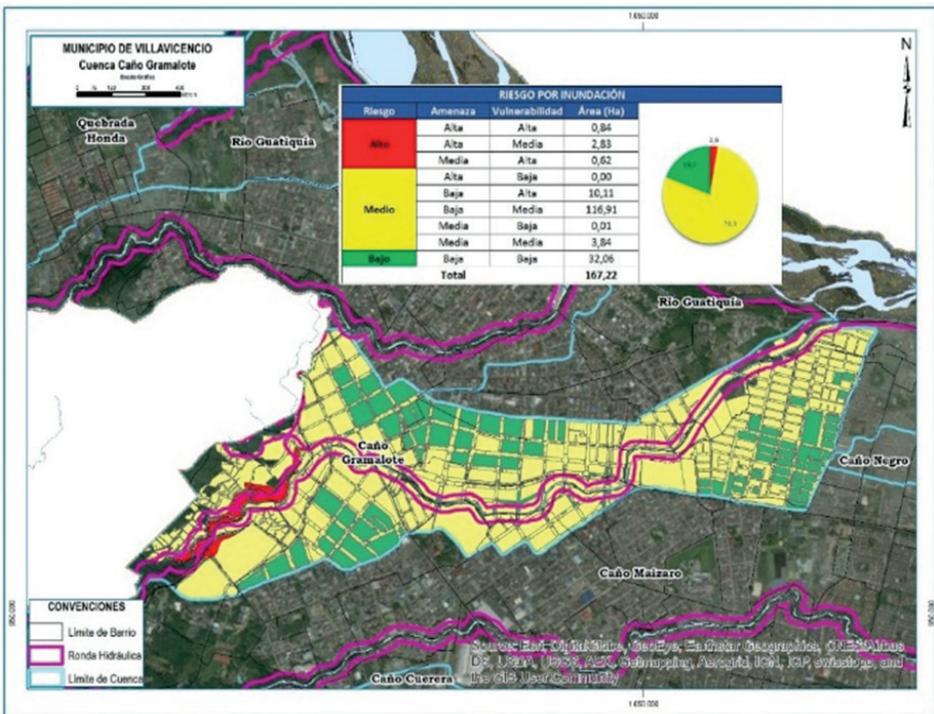


Figura 18. Ejemplo de resultados de la zonificación de riesgo de inundación en Villavicencio-Meta, microcuenca Caño Gramalote  
Fuente: CIAF

A nivel de tecnologías y algoritmos, el CIAF ha venido trabajando de la mano de otras entidades como el IDEAM y la Universidad de Los Andes, entre otras, en una metodología de adaptación de modelos de corrección atmosférica y geométrica aplicados al prototipo Cubo de datos de imágenes de Colombia (figura 19). Otro punto

para destacar en esta temática, es la investigación en la mejora de los modelos digitales de terreno, mediante la cual el IGAC participa en el programa internacional TReX (TanDEM-X High Resolution Elevation Data Exchange Program), cuya finalidad es la obtención de un modelo digital de superficie con cobertura global (GDEM) de alta resolución y calidad.



Figura 19. Proceso de captura de firma espectral para la elaboración de modelos de corrección atmosférica de imágenes de sensores remotos  
Fuente: IGAC-CIAF

Actualmente, también se están desarrollando proyectos de investigación orientados al análisis y extracción de información empleando el *Google Earth Engine*. Tradicionalmente, se han procesado las imágenes satelitales en computadores de escritorio con el software adecuado; adicionalmente, es necesario obtener el juego de imágenes del área de estudio de interés que en algunos casos son de carácter gratuito y en otros de pago. En escritorio se hace el análisis de estos datos y la extracción de información relevante usando las diferentes herramientas y algoritmos con los que cuenta el software de procesamiento digital de imágenes a utilizar. Una gran fuente de consulta de imágenes satelitales, pero sólo para su visualización, ha sido por cerca de una década *Google Earth*, el cual ha permitido tener una visión del mundo real por medio de un viaje virtual recreado por Google. Por otro lado, *Google Earth Engine* complementa al tradicional (figura 20), en cuanto a que es una plataforma que permite analizar información geoespacial y posee un catálogo de imágenes de más de 40 años, el cual

se está actualizando frecuentemente, además de que facilita su análisis por medio de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API por sus siglas en inglés) de *Java Script* y *Python*, así como un juego de herramientas que permiten evaluar grandes volúmenes de datos.

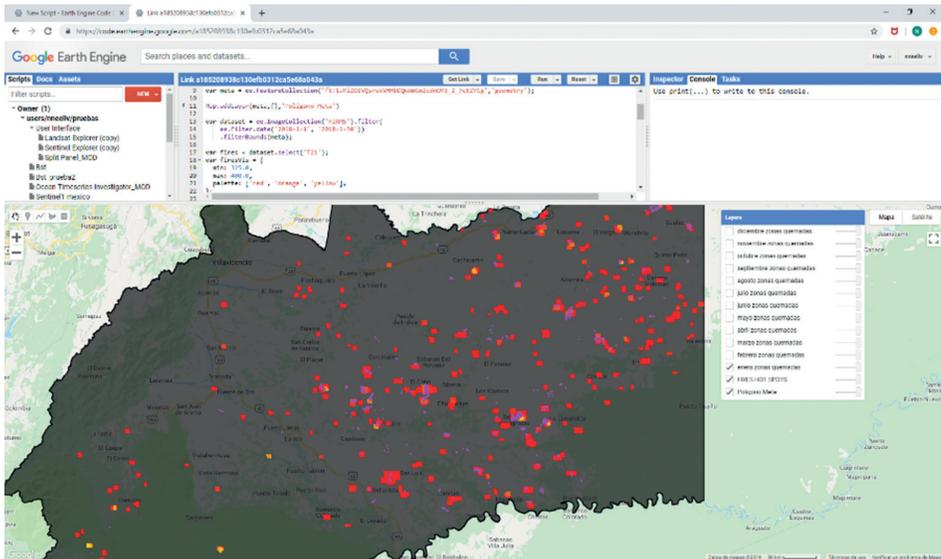


Figura 20. Procesamiento en la nube con Google Earth Engine. Análisis de área quemada a partir de series de tiempo de imágenes Landsat  
Fuente: CIAF

El IGAC también ha venido trabajando en la evaluación del uso de equipos no tripulados tipo Aeronaves Remotamente Tripuladas (ART), popularmente conocidas como drones, con el fin de utilizar sus mejores aplicaciones en cartografía y temas catastrales en zonas urbanas y rurales, y en otras materias como agricultura, análisis de cambios y gestión del riesgo. Este tema en particular ha sido de gran interés desde el punto de vista de innovación de los procesos productivos del IGAC, que buscan la optimización de tiempos de generación de productos cartográficos.

Por su parte, las mismas actividades de investigación, desarrollo y cooperación técnica especializadas en materia de percepción remota, han permitido al IGAC y al CIAF, la asesoría y ejecución de importantes y variados proyectos con entidades del orden nacional e internacional.

De igual manera, apropiando los estándares internacionales en torno a la producción de cartografía digital (Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data),

(American Society for Photogrammetry and Remote Sensing -ASPRS.Org-, 2015), con base en estándares del Comité 028 del ICONTEC, y lineamientos de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), el IGAC diseña, presenta y publica especificaciones técnicas para la generación de cartografía básica, donde se reconoce el potencial de diferentes tecnologías de adquisición de datos geoespaciales, como los sistemas de posicionamiento global GNSS, radar de apertura sintética, Lidar (Light Detection and Ranging), RPAS (Remotely Piloted Airborne System), e imágenes ópticas obtenidas a partir de plataformas satelitales o aerotransportadas.

El desarrollo de aplicaciones en Tecnologías de la Información Geográfica es una de las actividades fuertes del CIAF, que cuenta con una tradición de más de 10 años en el diseño, desarrollo e implementación de sistemas de información geográfica y su evolución a nodos que proveen datos e información espacial, insumo fundamental para la toma de decisiones.

La tecnología está en constante evolución, como el territorio. Esto obliga a estar actualizados, buscando el mejor uso de las herramientas tecnológicas tanto de software libre como comercial. El CIAF cuenta con profesionales capacitados en entender las necesidades de los usuarios y entregar las herramientas que respondan a esas necesidades, al mismo tiempo enmarcadas en la política de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales.

Aquí se pueden destacar proyectos como el Sistema de Información Geográfica para el Departamento del Quindío, Sistema de Información Geográfica Corporativo del Municipio de Chía-SIGEO\_CHIA, Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial - SIGOT, SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura y Ganadería, entre otros, los cuales están en constante actualización y mejora, gracias a la innovación de procesos en la que se trabaja constantemente desde el CIAF.

Una de las investigaciones realizadas en este tópico, radica en el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG 3D), teniendo en cuenta que el mundo actual se observa en 3D y no en 2D.

Los SIG son una abstracción de la realidad y cada vez se busca que este proceso sea más fiel a la realidad. De aquí que sea importante llevar a un nivel más allá del plano común la percepción del mundo y enfocarse en una visión 3D que permita tener otras apreciaciones del territorio. Algunas de sus aplicaciones están en el análisis de infraestructuras, visualización de nuevos desarrollos, evaluación de amenazas y riesgos y, catastro 3D, entre otras (figura 21).



Figura 21. Visualización de construcciones 3D de una localidad de Bogotá  
Fuente: Grupo de Investigación Geomática IGAC-CIAF

En la actualidad, es de gran interés el punto de vista geográfico centrado en la exploración de datos y Big Data Geográfica. En esta época de datos abiertos, Internet, producción más rápida de datos e información, requerimientos de información para la toma de decisiones oportuna, se requiere contar con instrumentos que permitan crear resultados de análisis más entendibles, desarrollar soluciones especiales a la medida, acceder a volúmenes de información considerables y entender diferencias entre lugares, entre otras muchas necesidades. Una de las materias en las que el IGAC aplica este campo, es en el manejo del Banco Nacional de Imágenes donde se cuenta con fotografías aéreas desde 1929 hasta la fecha, sumado a imágenes satelitales de

diferentes constelaciones, temporalidades y escalas, que requieren de mecanismos eficaces de consulta y análisis.

### 2.2.7.3 Infraestructura colombiana de datos espaciales.

La Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE),

se entiende como un ecosistema que permite la construcción e implementación colectiva de políticas y facilita los procesos de gestión de los recursos geográficos, que incluyen datos, información y conocimiento, para armonizarlos, disponerlos y reutilizarlos por el Gobierno y la Sociedad, como sustento de la Gobernanza y la toma de decisiones (ICDE, 2019, p. 1).

Tiene por objetivo “articular y facilitar la gestión de recursos geoespaciales a través de procesos compartidos y generando valor estratégico entre el Gobierno y la Sociedad, como base para la toma de decisiones” (ICDE, 2019, p. 1). El desarrollo de la ICDE tuvo sus inicios cuando, en 1996 el IGAC participó en la Sexta Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para las Américas, proponiendo la implementación de las IDE nacionales y la regional para América Latina” (ICDE, 2019, p. 1) y se fue consolidando con el paso de los años con la misión de “contribuir al desarrollo del país, mediante la gestión eficiente de la producción y el acceso a recursos geoespaciales con calidad y oportunidad, que facilite la toma de decisiones y la generación de conocimiento del Gobierno y la Sociedad” (ICDE, 2019, p. 1).

## 3. Importancia para Colombia del desarrollo de capacidades espaciales

Son relevantes los beneficios que para un Estado trae consigo el desarrollo tecnológico en este campo; de hecho, Colombia se encuentra avanzando actualmente en la generación de condiciones para que el país pueda explotar el sector espacial, en línea con el documento CONPES 3866 Política Nacional de Desarrollo Productivo, y la articulación de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) con el Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCTI).

Para el IGAC, como entidad de orden nacional, miembro del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, principal productor de información cartográfica y geográfica oficial del país a partir de tecnologías de observación de la Tierra (plataformas satelitales,

aerotransportadas tripuladas y no tripuladas, entre otras), con experiencia técnica y científica de más de 80 años en el uso y aplicación de estas tecnologías, y considerando los retos actuales del país, entre los que se encuentran la adopción e implementación de un catastro multipropósito rural-urbano (DNP, 2019), las tecnologías de observación de la Tierra y sus productos generados, son de especial importancia, así como la definición e implementación de especificaciones técnicas, a fin de garantizar la calidad y cumplimiento de la información requerida, por lo que es necesario gestionar mecanismos de cooperación internacional para el acceso a información satelital.

Considerando la complejidad y características geográficas del país, en cuanto a su localización y condiciones climatológicas, así como los retos a futuro para atender necesidades en materia de generación de cartografía básica, ordenamiento del territorio, gestión catastral, y el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, es necesario acceder a un flujo continuo de datos entendidos como: 1) imágenes satelitales a diferentes resoluciones espaciales (50 cm), coherente con el Plan Nacional de Cartografía; 2) imágenes de sensores activos tipo radar de diferentes fuentes que solucionen las limitaciones de información ante condiciones meteorológicas, que no pueden ser solucionadas por los sensores ópticos; y 3) acceso a datos de sistemas de geoposicionamiento GNSS, para el fortalecimiento del Plan Nacional de Geodesia.

El avance de las políticas e iniciativas para el desarrollo espacial del país, ha generado la necesidad de fortalecer las instituciones y centros de investigación generadores y usuarios de tecnología e información geoespacial, para que fomenten la creación de conocimiento en este campo, con el objetivo de promover y facilitar la gestión de la información obtenida del territorio nacional a partir de las tecnologías de observación de la Tierra.

Ejemplo de lo anterior es el desarrollo de proyectos de investigación orientados al uso de tecnologías satelitales para la cartografía y el monitoreo del territorio nacional realizados por el IGAC y otras entidades; sin embargo, para lograr un mayor impacto de los mismos, así como su sostenibilidad, se requiere del fortalecimiento en investigación desarrollo e innovación, así como una mejor articulación entre la academia, el Estado, el sector privado y países que se ubican a la vanguardia.

De acuerdo con lo expuesto, es necesario que el país identifique y consolide alianzas con agencias espaciales como la ESA, para facilitar el acceso a datos de sus programas espaciales, e identificar los arreglos institucionales en la región, a fin de lograr el intercambio de datos de observación de la Tierra, la realización de proyectos pilotos sobre temas que incluyen teledetección, navegación satelital, meteorología satelital,

tele-educación y ciencia espacial básica, para el beneficio de países en vías de desarrollo, especialmente considerando avances de países como Argentina, Brasil, Perú, Chile y Ecuador, entre otros (IGAC-CIAF, 2019).

Colombia requiere la estructuración de una política espacial, acompañada de programas y proyectos estratégicos para su implementación o instrumentalización, que refleje la importancia estratégica del sector espacial para el desarrollo del país, que articule la participación internacional, así como al sector industrial y especializado, entre otros aspectos de relevancia. Además, que tome en consideración que la información geoespacial derivada de los datos de observación de la Tierra es un insumo básico para la integración de datos socioeconómicos, ambientales y de ordenamiento territorial, debido a que facilita la formulación de políticas y la toma de decisiones, que combinados con el acceso a las tecnologías de la información y comunicaciones, su manejo apropiado, reglas comunes, etc., incrementan la capacidad de organizar, utilizar los datos y generar valor para la sociedad y el Estado. Lo anterior está en proceso de desarrollo por parte del DNP que, a la fecha de elaboración del presente documento, se encuentra preparando un CONPES de política de desarrollo espacial para el impulso de la competitividad nacional.

Para optimizar dichas capacidades, la información geoespacial debe ser gestionada, en todo su ciclo de vida, de acuerdo con los lineamientos de la política de gobierno digital, que rige la gestión de todo tipo de información, así como los de la ICDE; información geoespacial definida en el CONPES 3585 como Política Nacional de Información Geográfica que, de acuerdo con la política de Estado, se ubica en el marco de referencia geoespacial. Así mismo, la gestión del conocimiento en temas geoespaciales, considerando el avance realizado por la academia e instituciones como el IGAC a través de su centro de investigación CIAF (figura 22).

## LA ICDE TRANSVERSAL AL DESARROLLO ESPACIAL COLOMBIANO



Figura 22. Relación ICDE – Comisión Colombiana de Espacio  
Fuente: IGAC-CIAF (2019)

La estructuración, consolidación e implementación de las políticas espaciales, incluidas las de desarrollo satelital en el país, también requiere la articulación con los lineamientos en el desarrollo y uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) incluidas en la mencionada política de gobierno digital. Por ejemplo, la Política Nacional de Explotación de Datos (Big Data) 2018, que ha iniciado la creación de la infraestructura de datos públicos, en la cual se debe disponer la información producto de esta política espacial y otras actividades de observación de la Tierra que sean consideradas de interés público.

Es necesario destacar la importancia de la habilitación espacial del país, entendida como la creación de capacidades y pensamiento espacial en la sociedad, y articularla mediante la implementación de modelos de gobernanza más inclusivos y efectivos, la promoción del intercambio de datos, información y conocimiento entre diversos actores y el desarrollo de plataformas habilitadas para el acceso y prestación de servicios geoespaciales. Para facilitar dicho acceso, debe tenerse en cuenta las disposiciones del CONPES 3762, que comprende la creación del Portal Geográfico Nacional como recurso oficial para disponer y acceder a la información geográfica nacional.

## 3.1 Uso y aplicación científico-tecnológica del *FACSAT 1*

Con fecha 28 de noviembre de 2018, la Fuerza Aérea Colombiana puso en órbita el segundo satélite artificial colombiano y el primero de naturaleza operacional (a diferencia del cubesat *Libertad 1* de naturaleza académica e investigativa), denominado *FACSAT-1*, lo que representó un importante hito en la historia del desarrollo espacial colombiano.

A continuación, se presenta la información relacionada con el *FACSAT-1* suministrada por el Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE), operador del satélite (Martínez, CITAE, 2019).

La FAC forma parte desde el inicio de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), liderando el Grupo Astronáutica, Astronomía y Medicina Aeroespacial (Comisión Colombiana del Espacio -CCE-, s.f). Entre el año 2012 y 2014, la FAC ocupó la Secretaría Ejecutiva de la CCE. En dicho marco de referencia, la Fuerza Aérea ha participado y aportado activamente en los diferentes proyectos e iniciativas adelantadas por la Comisión, entre ellos el proyecto *SOTCol*, Satélite de Observación de la Tierra colombiano, el cual buscaba dotar al país de autonomía en la adquisición y empleo de datos satelitales de observación de las y superficies terrestres y marítimas nacionales y demás áreas de interés.

Adicionalmente a su participación en la CCE, la FAC prestó apoyo al desarrollo del nanosatélite *Libertad 1*, proyecto que financió, desarrolló y operó la Universidad Sergio Arboleda ocupando lugar preminente en la historia del desarrollo espacial colombiano al lanzar el primer satélite artificial de origen colombiano el 17 de abril de 2007 como carga hospedada a bordo de un cohete Dnepr-1 desde el cosmódromo de Baikonur en Kasajistán.

*El Libertad 1* consistió en un cubesat de 1 kilogramo de masa cuya carga útil consistía en un radiotransmisor que emitió más de 11.600 paquetes de datos durante los 34 días que duró su operación hasta agotar la energía de sus baterías.

Aunque el proyecto *SOTCol* no llegó a culminarse, pues fue suspendido durante el periodo presidencial 2014-2018 por decisión del Señor Vicepresidente de la República Germán Vargas Lleras, en su condición de Presidente de la CCE, la FAC dio continuidad al aprendizaje adquirido tanto con el *SOTCol* como con el *Libertad 1* y es así que en el año 2012 formuló un proyecto institucional para adquirir y operar un

nanosatélite tipo cubesat 3-U para observación de la Tierra con una masa de entre tres a cinco kg y dotado de una cámara con una resolución espacial de aproximadamente 30 metros por pixel. El proyecto recibió la designación *FACSAT* y se planeaba lanzarlo a la órbita baja terrestre en el año 2014.

Situaciones imprevistas de orden político y financiero del país ocasionaron un retraso en el tiempo programado para la ejecución del proyecto, pero en julio de 2014 se adquirió la plataforma satelital y su carga útil con la compañía GomSpace, de origen danés, culminando la fabricación del nanosatélite. En el año 2015, se realizaron pruebas de integración al modelo de vuelo, y en 2016 se concretó el presupuesto para finalizar su fabricación y lograr su lanzamiento. Las gestiones contractuales pertinentes se adelantaron durante el año 2017. Durante el transcurso de 2018, se realizaron todas las gestiones internacionales para el registro del satélite ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (UIT, 2019) y la Unión Internacional de Radioaficionados (UIRA) (IARU, s.f.); se desarrollaron una serie de capacitaciones previas al lanzamiento para el personal integrante del proyecto que operaría el satélite, y se adecuó la infraestructura de la estación terrena y centro de control de misión bajo responsabilidad del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE), de la Escuela Militar de Aviación (EMAVI), ubicada en Cali.

El 28 de noviembre de 2018, a las 23:15 horas (hora colombiana), desde el centro de control de misión recién adecuado en la EMAVI, el personal de oficiales, suboficiales, cadetes, docentes, investigadores y personal de apoyo, atendieron el lanzamiento mediante conexión en vivo con Gomspace en Aalborg, Dinamarca, y con la agencia espacial de la India la Indian Space Research Organization (ISRO) (ISRO, s.f.), responsable de la operación y lanzamiento del Cohete *PSLV-C43*. En Dinamarca se contó con una delegación de la FAC integrada por el señor Brigadier General Fernando León Losada, Jefe de Educación Aeronáutica, el señor Coronel Giovanni Corredor Gutiérrez, jefe de la Oficina de Asuntos Espaciales del Comando FAC, así como un equipo del CITAE, quienes participaron de todo el programa de transferencia de conocimiento en la implementación de la Estación de Comando y Control del nanosatélite.

El lanzamiento ocurrió sin novedad y aproximadamente una hora y media después de ocurrido se dio la inserción orbital del *FACSAT-1*, lográndose con ello un hito histórico al ser el segundo satélite artificial lanzado al espacio por Colombia y el primero con capacidades plenamente operacionales gracias a su sensor óptico y a sus características de ingeniería que le permiten desempeñar una variedad de misiones en el ámbito de observación de la Tierra por espacio de tres a cinco años, lo que representa

para el país una evolución respecto del *Libertad-1* que, sin desconocer su lugar de pionero en Colombia, se trataba de un satélite experimental y con fines académicos.

Desde su lanzamiento, el satélite de observación de la Tierra *FACSAT-1*, ha atravesado por dos fases de operación: una en la cual se dio inicio al control de la plataforma por parte de la FAC, y posteriormente, otra en la que se ha iniciado una estandarización de los procedimientos al interior de la estación terrena, siendo operada por oficiales del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales. A la fecha del presente, durante los últimos cuatro meses, se han evaluado sus capacidades y monitoreado los diferentes sistemas de funcionamiento que posee, manteniendo un control autónomo por parte de la FAC.

El *FACSAT-1* ha generado un nuevo campo de desarrollo de capacidades espaciales en el país en cuanto a mecánica orbital, misiones espaciales, ingeniería de sistemas, sensoramiento remoto, uso de software satelital, entre otros tópicos, lo que permite adquirir capacidades en ciencia y tecnología para generar nuevo conocimiento, desarrollando doctrina de operación y mantenimiento de satélites en órbita, no solo desde el punto de la misión del mismo, sino además de los subsistemas técnicos que lo conforman: GPS-Sistema de Posicionamiento Global, ADCS-Sistema de Determinación y Control de Actitud, RWA-Ensamble de Ruedas de Reacción y WDE-Electrónica para Movimiento Ruedas Inerciales, entre otros, además del sistema para la recolección de imágenes y el pos-procesamiento de ellas para la detección de objetos.

En la EMAVI, a través del CITAE, se mantiene control de comunicaciones las 24 horas con el *FACSAT-1* desde la estación de comando y control, en la cual se hace seguimiento y verificación de su operación por parte de oficiales, suboficiales y cadetes de la FAC. Desde su operación inicial se tiene un control diario y riguroso al estatus del satélite, que envía imágenes del territorio colombiano y de diferentes partes del mundo basadas en cada una de sus órbitas, dadas sus características de plataforma de órbita polar. Las imágenes tomadas a través de la cámara con resolución de 30 metros por pixel, contribuyen a vigilar y monitorear el territorio nacional, aportando información que será empleada para desarrollo urbano, atención temprana de desastres naturales, vigilancia de recursos naturales terrestres y marítimos, y una amplia gama de otras aplicaciones.

La arquitectura de diseño de una plataforma satelital, su suministro garantizado de datos de detección remota y las prestaciones que ofrece una estación terrena en constante operación, facilitan un continuo entrenamiento, demandan el desarrollo de capacidades de análisis e interpretación de imágenes, procesamiento y pos-proce-

samiento de los datos, y telecomunicaciones; requieren de investigación en sinergia con la academia, entidades del sector estatal y la empresa privada, conformando de manera práctica la triada Estado-universidad-empresa, todo con el objetivo de consolidar redes de conocimiento y difusión del campo espacial. Entre algunas de estas instituciones se cuenta con:

Universidad Sergio Arboleda, precursora del desarrollo satelital en Colombia mediante el primer nanosatélite nacional; Universidad de San Buenaventura, líder en el desarrollo de programas académicos de educación superior en ingeniería aeroespacial; Universidad del Valle, líder en desarrollo del programa de maestría en ingeniería aeroespacial; Universidad Autónoma de Occidente; Universidad Industrial de Santander; Tecnoparque SENA, entidad especializada en desarrollo de componentes electrónicos; Comisión Colombiana del Océano, entidad encargada de los programas de expedición a la Antártida y, GomSpace, empresa líder en desarrollo en plataformas de nanosatélites a nivel internacional

La vida útil del *FACSAT-1* se estima de tres a cinco años. Una vez terminada su fase de estandarización de procedimientos, se iniciará otra, de oferta de productos, para incorporarlos al desarrollo de actividades de investigación derivadas del proyecto macro, actividades formativas con los cadetes de la EMAVI, y aplicadas, con los aliados externos liderados por investigadores del CITAE.

La FAC, en pro del fortalecimiento y avances tecnológicos, apoyada con el mejor talento humano para liderar el poder aeroespacial y la defensa de la nación, en el marco del programa de desarrollo de plataformas satelitales *FACSAT*, formuló el proyecto Estudio para el desarrollo de sensores satelitales *FACSAT-2*, que consiste en el co-diseño, codesarrollo y lanzamiento de un nuevo nanosatélite de mayores dimensiones y capacidades que el *FACSAT-1*, con base en la transferencia de tecnología, apropiación de lecciones aprendidas y generación de doctrina espacial del proyecto *FACSAT-1*, mediante el cual se ha adquirido el criterio para mejorar el diseño, fabricación, prueba y operación. Este proyecto comprende el diseño, manufactura, ensayo y operación de un nanosatélite cubesat 6-U para observación de la Tierra.

La tercera fase del programa, que es el objetivo propuesto a mediano y largo plazo, estará compuesta por una constelación de satélites con diversas aplicaciones y capacidades, los cuales serán integrados en Colombia en los laboratorios de la FAC. En dicha fase, los procesos de análisis de factibilidad, gestión y gerencia de proyectos, diseño de misión, registro satelital, asignación de frecuencia, contrato de lanzamiento, ingeniería de sistemas, pruebas de validación, lanzamiento y operaciones, serán

mayoritariamente ejecutados por personal de planta de la FAC, contando también con la participación de la academia, con miras a generar spin-offs empresariales de tecnología espacial.

Como fase inicial del desarrollo de capacidades autónomas en ingeniería satelital, la firma GomSpace ha suministrado soporte técnico a la FAC en la adecuación de instalaciones con enfoque en electrónica para el ensamble de satélites en la EMAVI. Desde el primer trimestre de 2019, se está desarrollando tal actividad con los componentes adquiridos por la FAC, con el fin de alcanzar una transferencia de conocimientos sobre el proceso de integración de los componentes principales del nuevo prototipo *FACSAT-2*.

Estos primeros pasos en integración de sistemas permitirán a futuro, el desarrollo en conjunto con el Tecnoparque SENA, nodo Cali, y con el soporte de empresas privadas, de habilidades para el estudio de componentes, estructuras y funcionalidades de los nanosatélites, facilitar el desarrollo de las etapas de ingeniería básica para determinar la arquitectura acorde a la misión, elaboración de diseños detallados de componentes, validación bajo las condiciones estáticas y dinámicas propias de su operación y, realizar planos de detalle de componentes y ensambles de nanosatélites; todo esto, con el fin de desarrollar un programa de ingeniería reversa con los modelos que se tienen de las firmas GomSpace y Pumpkin y que se encuentran en el laboratorio de electrónica del CITAE.

Asimismo, como parte de los spin-off de este proyecto de investigación satelital, se tiene como visión la explotación de los productos entregados por el satélite, para lo cual se estructuró junto con la Universidad Autónoma de Occidente (UAO), el proyecto Detección de patrones de minería ilegal a cielo abierto usando redes neuronales profundas aplicadas a imágenes satelitales del *FACSAT-1*, que busca la implementación de una solución de inteligencia artificial, particularmente de redes neuronales profundas, para el tratamiento de las imágenes satelitales, orientadas a la identificación de patrones que ayuden a detectar cambios en la vegetación a cielo abierto como resultado de la minería ilícita en zonas rurales del país.

En el ámbito de operación satelital, y teniendo en cuenta la naturaleza de operación y características del *FACSAT-1*, se formuló en conjunto con la Comisión Colombiana del Océano el proyecto Comunicaciones satelitales de la FAC en la Antártida, que se presenta como una solución a las deficiencias de comunicación entre el *FACSAT-1* y su estación terrena, debido a la baja velocidad de descarga de datos lograda con la banda UHF, atenuada por las condiciones meteorológicas, el limitado número de pases del satélite sobre la estación de Colombia y el tiempo de conexión de solo dos veces

por día durante 10 minutos, deficiencias que podrán ser mejoradas con la instalación de una estación terrena en la Antártida, gracias al incremento del número de pases de aproximadamente 15 por día, debido a la ubicación austral que resulta altamente estratégica para la operación satelital en órbitas polares.

Paralelamente, es de especial interés el proceso de diseño, instalación y operación de estaciones terrenas en el ámbito académico, para lo cual se está adelantando una alianza con la Universidad Sergio Arboleda, precursora del desarrollo espacial en el país con el primer nanosatélite colombiano, con el fin de desarrollar capacidades tecnológicas que permitan la operación satelital desde distintos lugares de Colombia que cuenten con esta capacidad, a través de la definición de requisitos funcionales del sistema de recepción y transmisión para comunicación con el *FACSAT-1*, construcción de componentes del sistema de comunicaciones de la estación terrestre e implementación de un protocolo técnico de comunicaciones para adquirir datos del satélite.

Adicionalmente, como complemento al desarrollo tecnológico de los segmentos espacial y terrestre, se están adelantando junto con la Universidad del Valle y la de San Buenaventura de Bogotá, proyectos de desarrollo de capacidades para el proceso de planeación y ejecución de misiones espaciales que permitan explorar las capacidades de la FAC en este ámbito. Se plantea seguir un plan de etapas consistente en la definición de misión, diseño, análisis, prueba y fabricación de cohetes, trabajando en varios frentes como lo son el sistema de propulsión, que incluye la configuración de la tobera; el sistema estructural, que define los materiales del fuselaje; el sistema de direccionamiento; la adquisición de información o telemetría; el sistema de recuperación y, por último, el sistema de lanzamiento.

Por otro lado, se está trabajando de manera preliminar en el desarrollo de criterios normativos para el lanzamiento y experimentación de vehículos tipo cohete en territorio colombiano a fin de generar una aproximación preliminar al desarrollo de procedimientos, protocolos y normativas requeridas durante el desarrollo de procesos de investigación de índole espacial en esta materia. Lo anterior, debido a que la actual ausencia de una normativa especialmente creada para los procesos de experimentación, lanzamiento y comprobación de tecnología en vehículos tipo cohete, no permite un desarrollo fluido y recurrente de este tipo de actividades

Como parte del programa de fortalecimiento de las actividades de formación del recurso humano, la FAC espera vincular a estos proyectos personal especializado en diversas disciplinas tanto en categoría de contratistas como de oficiales del cuerpo administrativo, lo que se complementará con el ingreso en el presente año 2019 de dos oficiales de la EMAVI y del CITAE en estudios de doctorado, uno de ellos en la Universidad Autónoma

de Occidente (en inteligencia artificial para detección de objetos en imágenes satelitales) y otro en la Universidad del Valle (en ingeniería), los cuales liderarán el avance de estas actividades de investigación aplicada. Asimismo, para el segundo semestre, dos oficiales más adelantarán estudios de maestría en ingeniería aeroespacial en la Universidad del Valle, bajo el marco del convenio suscrito con la FAC.

En ejercicio de su visión institucional de ser una Fuerza “desarrollada tecnológicamente, con el mejor talento humano y afianzada en sus valores, para liderar el poder aeroespacial y ser decisiva en la defensa de la nación”, la FAC, a través del desarrollo de sus capacidades espaciales al servicio de la nación, vive momentos históricos que, vale la pena decirlo, emocionan y llenan de optimismo.

## 3.2 Ciencia y tecnología espacial en la academia

### 3.2.1 Colciencias, las ciencias y la investigación espacial.

El Estado colombiano, a través de diversas instituciones oficiales, ha dejado sentada la necesidad de lograr la apropiación de la tecnología aeroespacial para el país en pro del bienestar de la su sociedad, pero también como un asunto estratégico para la nación. El desarrollo de tecnologías para la observación de la Tierra desde el espacio, las comunicaciones y la navegación satelital, al igual que la investigación en ciencia básica, donde la astrofísica hace innumerables aportes, depende de claras directrices para su fortalecimiento. El país tiene un rezago significativo en muchas de estas áreas respecto a los países vecinos en Latinoamérica, y mucho más si se le compara con el panorama de investigación y desarrollo mundial, por lo que es de suma importancia estratégica potenciar este campo en el país.

Colciencias tiene como función primordial:

orientar la construcción colectiva de la visión de desarrollo del país en materia de ciencia y tecnología (CTel) y presentarla para su adopción en las instancias de decisión pertinentes, así como asesorar al Presidente de la República en la adopción de la política en CTel” (Colciencias, 2014, p. 1).

Conforme a ello, esta entidad pública, lidera y coordina la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, y el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) para generar e integrar el conocimiento al desarrollo social, económico, cultural y territorial del país.

Por su parte, la Comisión Colombiana del Espacio, que depende de la Vicepresidencia de la República y de la cual forma parte Colciencias, ha pasado desde sus inicios por innumerables altibajos, muchos de ellos por la dependencia que tiene con el equipo de gobierno en funciones. Esto muestra una vez más la necesidad de una política científica de largo aliento que sienta bases robustas sobre los planes de desarrollo en estos temas, con una visión clara a futuro. Colciencias ha participado activamente en los diferentes proyectos adelantados en el marco de la CCE, tales como el proyecto Satélite de Telecomunicaciones Colombiano-*SATCol*, proyecto Satélite de Observación de la Tierra Colombiano-*SOTCol* y proyecto de creación de la Agencia Colombiana de Asuntos Espaciales-ACAE, ninguno de los cuales se ha culminado con éxito por razones que han sido explicadas en otros apartes del presente documento.

La debida articulación entre los diferentes actores será crucial para que los esfuerzos lleguen a buen término. Hoy por hoy, el terreno está abonado en buena parte, pero una decidida apuesta política debe enmarcar estas iniciativas con el consenso de la comunidad académica. Con el nuevo gobierno se están retomando las acciones desde la Vicepresidencia para seguir articulando el desarrollo conveniente de estas temáticas.

En el año 2017, bajo la Dirección General de César Ocampo, PhD en astrodinámica e ingeniero aeroespacial con amplia experiencia como investigador y consultor en la NASA, Colciencias inició la formulación de un proyecto orientado al desarrollo y empleo de tecnologías satelitales en Colombia, como un aporte al desarrollo sostenible de un país en paz. Colciencias visualizaba la realización de dicho proyecto como un esfuerzo articulador y aglutinador de las diferentes entidades que conforman la Comisión Colombiana del Espacio, por lo que conformó mesas de trabajo que contaron con la participación de delegados de varias de dichas entidades, destacándose la FAC, el DNP y el IGAC. El objetivo final era presentarle al alto gobierno una propuesta debidamente estructurada de la hoja de ruta para la adquisición, desarrollo y empleo de capacidades satelitales que le permitieran al país cerrar la brecha respecto a naciones de la región, obtener soberanía en cuanto a la obtención, procesamiento y distribución de datos satelitales del territorio y superficies marítimas nacionales, así como proponer las alternativas legales y financieras para cumplir con dicha hoja de ruta.

Desafortunadamente, el periodo de César Ocampo como Director General de Colciencias solo se extendió de marzo de 2017 a enero de 2018 lo que tuvo como consecuencia la falta de continuidad del proyecto, con lo que se frustró una vez más el anhelo de la comunidad científica, académica y oficial que, desde la creación de la CCE, ha venido promoviendo la necesidad del desarrollo espacial colombiano.

### 3.2.2 Misión Internacional de Sabios 2019, foco ciencias básicas y del espacio.

Tras veinticinco años de que el país tuviera una misión cuya tarea era diseñar una carta de navegación para la ciencia, la educación y el desarrollo en Colombia, en el año 2019 se crea una nueva misión de sabios. A diferencia de la de 1994, que contaba con diez reconocidos intelectuales, la nueva Misión Internacional de Sabios para el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación, está compuesta por un grupo de 46 expertos nacionales e internacionales con el objetivo de:

aportar a la construcción e implementación de la política pública de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación, así como a las estrategias que debe construir Colombia a largo plazo, para responder a los desafíos productivos y sociales de manera escalable, replicable y sostenible (Colciencias, 2019, p. 1).

El proyecto está liderado por la Vicepresidencia de la República, y tiene el acompañamiento del Ministerio de Educación Nacional y de Colciencias.

Otra diferencia con la antecesora, es que ahora hay grupos temáticos, un total de ocho, para ayudar a trazar la ruta para el avance de la educación, la ciencia, la tecnología y la innovación en el país (Presidencia de la República de Colombia, 2019).

Uno de los focos temáticos es el de Ciencias básicas y del espacio, que reúne a seis reconocidos investigadores, incluyendo a Serge Haroche (Premio Nobel de Física en el año 2012), y se encuentra bajo la Secretaría Técnica de la Universidad Nacional de Colombia, que ayudará a buscar el contexto necesario para que la comisión funcione, y que la comunidad científica se acerque a ella a fin de que el grupo de expertos tenga información suficiente para validar las recomendaciones finales que surjan.

Las ciencias básicas tienen un enfoque disciplinar e incluyen a las ciencias exactas, físicas y naturales (biología, física, geología, matemáticas y química), así como las ciencias básicas biomédicas. Su fin último es comprender los fenómenos asociados a la naturaleza, sus leyes e interacciones. Las ciencias del espacio, por su parte, comprenden diversas ramas del conocimiento, que tienen como finalidad estudiar los objetos y fenómenos que ocurren más allá de la atmósfera terrestre, así como sus propiedades, leyes e interacciones. Se incluye aquí la formación y estructura del Universo, evolución de cuerpos celestes, exploración espacial y el estudio de las condiciones para la existencia de diferentes formas de vida en otros planetas y el conocimiento de nuestro propio Sol.

Se espera que el país pueda beneficiarse en diferentes formas de las recomendaciones que salgan de estos equipos de trabajo, y se pueda cerrar poco a poco la brecha en la inversión en ciencias básicas y del espacio que genera necesariamente un atraso tecnológico, económico y social. Varios ejemplos históricos evidencian el éxito de los países que han sabido invertir en investigación científica, y que hace tan solo cincuenta años mostraban atraso y pobreza, como es el caso de Corea del Sur o Singapur. Pasar de ser consumidores de tecnología a creadores de conocimiento en ciencias básicas y productores de esa tecnología, es un salto que el país debe dar de cara a los nuevos retos que enfrenta su sociedad. En el campo espacial, no solo se debe contemplar la observación del espacio desde la Tierra, sino también el uso de satélites que observen desde el espacio, una necesidad imperante para un país que requiere de constante vigilancia para la prevención de desastres y un adecuado uso y ordenamiento de los territorios.

### 3.2.3 Panorama de los programas de educación superior.

Hacia mediados de la década de los 90 se realizan los primeros trabajos de grado relacionados con investigaciones en astronomía y astrofísica, desarrollados en los departamentos de física de universidades como Los Andes y la Nacional. Esta última comenzó a ofrecer en 1999 un programa de especialización en astronomía, donde empezaron a formarse académicamente en el área muchos de los profesionales que se dedicaban por afición a esta disciplina. Comenzando el nuevo milenio, salían del país algunos de los primeros estudiantes que continuarían sus estudios formales de maestría y doctorado en astronomía y astrofísica en universidades e institutos del extranjero. La opción de crear una maestría en Colombia estaba *ad portas* de convertirse en realidad, hecho que ocurrió en el año 2003 gracias al esfuerzo del OAN. Para ese momento, ya existía una gran cantidad de grupos de aficionados a la astronomía, y observatorios astronómicos en las principales ciudades del país, la mayoría pertenecientes a universidades públicas y privadas, al igual que algunos centros y parques temáticos de ciencia, donde los temas del espacio atraían de forma destacada a los ciudadanos.

En el año 2007, la Universidad de Antioquia inició el primer, y hasta ahora, único programa de pregrado en Astronomía del país con una muy positiva acogida. El escenario de formación académica se reforzó con el primer doctorado en astronomía del país, que desde el primer semestre de 2019 se ofrece en la Universidad Nacional de Colombia con investigación en varias líneas, haciendo especial énfasis en el manejo

de las nuevas herramientas para interpretar datos, y la mejor forma de procesarlos, almacenarlos y analizarlos, en sintonía con la ciencia de datos que tanto protagonismo tiene actualmente en diversos ámbitos.

En el sector aeroespacial existen desde hace casi dos décadas, programas de ingeniería aeronáutica en el país. Tan solo en el año 2017, la Universidad de Antioquia estableció el primer programa de pregrado en ingeniería aeroespacial, siendo además el primero en la comunidad de países andinos, que incluye dentro de sus metas una formación completa tanto en el campo aeronáutico como de ingeniería espacial. Su misión es:

aportar al desarrollo aeroespacial fundamental y necesario para la nación, formando ingenieros aeroespaciales de nivel mundial, capaces de implementar, desarrollar y transferir conocimiento a las diferentes áreas del sector y sus aplicaciones como lo son: el diseño de vehículos y sistemas aéreos y espaciales; el mantenimiento, gestión y operación de aeronaves; la generación y transformación de energía para propulsar vehículos en la atmósfera y en el espacio; la integración de sistemas en satélites y vehículos espaciales; las técnicas y tecnologías para uso en percepción remota y su posterior análisis de datos, con competencias para investigar, innovar, gestionar y desarrollar la industria aeroespacial en el país, además de todos los sectores socioeconómicos que se puedan beneficiar de las aplicaciones de la ciencia y la tecnología aeroespacial (Universidad de Antioquia, Programa de Ingeniería Aeroespacial, 2019, p. 1).

En cuanto a programas de posgrado en el área aeroespacial, el país cuenta con la maestría en ingeniería con énfasis en ingeniería aeroespacial de la Universidad del Valle en convenio con la FAC, y la maestría en ingeniería aeroespacial de la Universidad de San Buenaventura. Ambos programas ofrecen la generación de tecnología, investigación, conocimiento, formación, servicios y emprendimiento, desarrollando competencias en ciencias aplicadas que apoyan la relación entre la teoría y la práctica en el ámbito aeroespacial.

Por su parte, el IGAC por intermedio del CIAF y en convenio con varias universidades del país, ofrece diferentes programas de posgrado en ciencias geomáticas con componente geoespacial. Éstos son: Maestría en geomática, en convenio con la Universidad Nacional de Colombia, la cual cuenta entre sus objetivos los de:

promover y fomentar la investigación en geomática como base para conocer y estudiar los recursos naturales, generando las bases científicas que permitan el uso, manejo sostenible y la conservación de los mismos y, generar nuevas

formas de conocimiento para desarrollar métodos que integren las bases científicas de la sostenibilidad de los recursos naturales con los avances tecnológicos de la geomática (Universidad Nacional de Colombia, 2019, p. 1).

Maestría en teledetección, en convenio con la Universidad Católica de Manizales con el objetivo de:

ofrecer formación científica en las técnicas de observación de la Tierra, la generación y análisis de información, lo que permitirá que el futuro egresado tenga cabida en la planificación, ejecución, seguimiento y evaluación en diferentes sectores que requieran el aporte de información apoyados en la variable espacial, los cuales abarcan, desde gestión ambiental hasta el geomarketing" (Universidad Católica de Manizales, s.f.).

Maestría en gestión de la información y tecnologías geoespaciales, en convenio con la Universidad Sergio Arboleda orientada a "fortalecer el conocimiento de la Tierra y el espacio ultraterrestre, mediante la utilización de tecnologías modernas e información proveniente de sensores remotos" (IGAC-CIAF, 2017, p. 1).

Y, la especialización en sistemas de información geográfica, en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El programa capacita para "gestionar la información geográfica desde una perspectiva tecnológica, que aporte al desarrollo de proyectos claves para la identificación de los territorios y sus cualidades en apoyo a la toma de decisiones" (IGAC, 2019, p. 1).

Por su parte, al momento de redactar este documento, la FAC se encuentra bastante adelantada en la formulación del proyecto para implementar la maestría en ingeniería aeroespacial, la cual será impartida conjuntamente entre la Escuela de Posgrados FAC-EPFAC, la Escuela Militar de Aviación-EMAVI, y la Universidad del Valle, en desarrollo del convenio existente entre las dos instituciones desde 2011, que posibilitó el reconocimiento del Ministerio de Educación Nacional, mediante registro calificado otorgado en 2015, a la maestría en ingeniería con énfasis en aeroespacial impartida por la Universidad del Valle.

### 3.2.4 Grupos y semilleros de investigación aeroespacial y afines.

Aunque Colombia tiene una deficiente inversión en infraestructura y proyectos de investigación en ciencias, en particular en el área de astronomía y ciencias afines, es alentador ver el creciente interés de jóvenes estudiantes por robustecer el recurso humano que es la base principal para el desarrollo de cualquier proyecto exitoso. Hacer una relación de cuáles organizaciones académicas y de investigación se dedican a la temática aeroespacial en el país resultaría un ejercicio probablemente incompleto, pero lo cierto es que existe un creciente número de grupos y semilleros de investigación en prácticamente todas las más importantes áreas de astronomía, desarrollo aeroespacial, astronáutica y ciencias afines. Un buen número de dichos grupos son liderados por miembros nacionales de la UAI. Paralelamente, y en algunos casos por iniciativas estudiantiles, se han conformado semilleros en áreas tan diversas como la arqueoastronomía, ciencias planetarias, cohetería, pico y nanosatélites, astrobiología, etc.

Esta última, ha mostrado un creciente desarrollo desde hace algo más de una década. En el 2010 tuvo lugar el I Congreso Internacional de Astrobiología, que posteriormente tuvo su segunda y tercera versión en el 2012 (Universidad de Antioquia y Parque Explora) y 2016 (Universidad de Manizales), respectivamente. Más recientemente, se llevó a cabo el II Congreso Latinoamericano de Astrobiología (Universidad Nacional de Colombia), reuniendo a un buen número de estudiantes del país interesados en contribuir a esta rama que une conocimientos de biología y de geociencias, con un trasfondo astronómico. En 2019 se llevó a cabo en la Universidad de Los Andes un encuentro de semilleros en ciencias planetarias y astrobiología, lo que alienta el interés y fortalecimiento en esta línea temática.

Se destaca la existencia de grupos y semilleros de investigación interesados en la astronáutica y desarrollo aeroespacial, que vienen trabajando en la última década en proyectos transversales entre ciencia e ingeniería, adelantando iniciativas en cohetería de combustibles sólidos y líquidos, CanSats (microsatélites adecuados en las dimensiones y forma de una lata de refresco) y, CubeSats, y sondas estratosféricas. Aquí se incluyen grupos de universidades, pero también de estudiantes de colegios y otras instituciones, producto del interés de asociaciones de aficionados. Todos ellos contribuyen de manera decidida al esfuerzo conjunto por darle relevancia a los temas del espacio.

Dentro de los grupos y semilleros dedicados a la investigación y desarrollo en cohería y pico/nanosatélites, se pueden citar como ejemplos (sin ser los únicos), el Proyecto Uniandino Aeroespacial-PUA de la Universidad de Los Andes, que desde hace varios años se enfoca en el desarrollo de cohetes de propulsión sólida y propulsión líquida; el Grupo de Investigación y Desarrollo Aeroespacial-GIDA de la Universidad Nacional, que trabaja en varios campos tales como diseño de trajes espaciales y de rovers (vehículos operados remotamente para exploración) y, simulación de misiones y ambientes extraterrestres; el Grupo de Investigación en Ciencias Planetarias y Astrobiología-GCPA de la Universidad Nacional; el Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología Aeroespacial-ASTRA de la Universidad de Antioquía, uno de los de más reciente creación, que se destaca por sus proyectos en cohería y, el Semillero de Investigación en Cohería y Propulsión de la Universidad EAFIT, que en los últimos años se ha enfocado con bastante éxito en el desarrollo de globos sonda bajo el estándar Can-sat. Un área de incidencia importante de los grupos y semilleros de investigación en temáticas espaciales, es la realización de diferentes tipos de eventos de divulgación, discusión y profundización. Es el caso, por ejemplo, del primer Taller Suramericano del Space Generation Advisory Council (SGAC), realizado en 2018 en Colombia gracias a la organización por parte de estudiantes. El SGAC es una organización no gubernamental, sin ánimo de lucro, creada en apoyo al Programa de Naciones Unidas de Aplicaciones Espaciales, con el objetivo de representar a estudiantes universitarios y jóvenes profesionales no solo ante las Naciones Unidas, sino ante las diferentes Agencias Espaciales, la Industria y la Academia. El Taller SA-SGAC 2018 reunió a profesionales, expertos, instituciones académicas, representantes de la industria, estudiantes de pregrado y posgrado, para crear redes, intercambiar conocimientos y, en definitiva, nutrir la perspectiva de la próxima generación en asuntos espaciales.

Varios estudiantes colombianos, de diversas áreas científicas, han sido parte de simulaciones de misiones de exploración, como por ejemplo la Mars Desert Research Station-MDRS, en el desierto de Utah (Estados Unidos), un hábitat de simulación para la exploración superficial de Marte perteneciente a la Mars Society, la cual contó con los primeros miembros de tripulación colombianos en 2018: Óscar I. Ojeda R., y Hernán D. Mateus J., como parte de la Tripulación 187. En 2019 viajaron a este ambiente los integrantes del primer equipo enteramente colombiano como miembros de la Tripulación 203: Óscar I. Ojeda R. (Comandante de Misión), Hernán D. Mateus J. (Segundo Oficial), Yael N. Méndez (Oficial Científica), Santiago Vargas D. (Oficial Astrónomo), Liza Forero (Oficial Geóloga), Freddy Castañeda (Oficial Ingeniero) y Hermes Bolívar (Oficial de Invernadero), quienes lucen en sus uniformes el parche que se observa en la figura 23.



Figura 23. Parche de Misión de la Tripulación 203 de 2019 del MDRS  
Fuente: FAC

La motivación para que jóvenes estudiantes encuentren en la astronomía y ciencias del espacio un camino académico cautivador no es nueva, pues desde hace un cuarto de siglo se iniciaron los esfuerzos por formarlos y fomentar su incursión en investigación astronómica. A la vanguardia estuvo la Escuela Nacional de Astrofísica en 1994, a la cual, a partir de 2003, se le dio el nombre de Escuela Colombiana de Astronomía y Astrofísica. Otras escuelas han tratado sobre temas de astrofísica extragaláctica, relatividad, física solar, radioastronomía, astrofísica estelar, entre otras materias de interés.

Se destacan también las iniciativas de cooperación académica internacional como Astronomy Twinning Program (AstroTwinCoLO) entre el Observatorio de Leiden (Holanda) y la Universidad de Antioquia, en donde investigadores internacionales apoyan la formación de estudiantes durante una escuela que se realiza anualmente desde el año 2013.

La visibilidad internacional de estas iniciativas es cada vez mayor, al igual que el provecho que los estudiantes obtienen del intercambio académico que está viendo sus frutos. Recientemente, en julio de 2018, en la Sede Socorro de la Universidad Industrial de Santander se realizó la versión número 41 de la Escuela Internacional de Jóvenes Astrónomos (ISYA) de la UAI, que tuvo como objetivo principal entrenar a los estudiantes de edad temprana en física, astronomía y astrofísica en América Latina y el Caribe, especialmente en la región andina.

Muchos de ellos han sido motivados incluso antes de su ingreso a la universidad, gracias a iniciativas como competiciones en ciencias. Las Olimpiadas Colombianas de Astronomía, Astrofísica y Astronáutica tienen como objetivo general, motivar, invitar e incentivar el estudio de las ciencias del espacio a la niñez y la juventud de nuestro país, para que de este modo, se puedan concebir mayores capacidades científicas, investigativas y tecnológicas, como aporte al desarrollo cultural, económico y social de la región en su conjunto. La Oficina de Olimpiadas ha desarrollado nueve versiones nacionales de Olimpiadas de Astronomía (2010-2018) y en el marco internacional se realizaron la segunda y cuarta Olimpiada Latinoamericana de Astronomía y Astronáutica (OLAA) en el 2010 (Bogotá) y 2012 (Barranquilla), con la asistencia de siete países de la región. Colombia, a través de Olimpiadas Internacionales de Astronomía y Astrofísica (IOAA) ha participado en seis versiones: Polonia (2011), Brasil (2012), Grecia (2013), Rumania (2014), Indonesia (2015), India (2016), Tailandia (2017) y China (2018). En septiembre de 2020 Colombia será por primera vez sede, en la XIV versión de IOAA.

Todos estos esfuerzos representan un paso importante para las primeras etapas en la futura carrera profesional de cientos de estudiantes. Ellos también son conscientes de cómo, el promover un estudiantado organizado, puede lograr grandes avances, asumiendo precisamente los retos y desafíos, y su papel como parte del eje transformador para el desarrollo de la astronomía, astrofísica y ciencias del espacio en Colombia. Con estos ideales se creó el marco del III COCOA (2012) durante el foro de estudiantes, y se adoptó la decisión de crear una red para alumnos colombianos interesados en las diferentes áreas de la astronomía. Desde entonces, la Red de Estudiantes Colombianos de Astronomía (RECA), es una asociación que busca crear y mantener vínculos fuertes entre los estudiantes de astronomía de Colombia, con el fin de generar un espacio que permita el intercambio de ideas y experiencias significativas entre sus miembros, donde imperen la colaboración y el apoyo mutuo para la realización de diversos proyectos o actividades académicas, y desplazamiento de los estudiantes por toda Colombia.

### **3.3 Sociedad civil y grupos de interés en temática espacial.**

La sociedad civil organizada, a veces también reconocida o denominada tercera vía o tercer sector, es definida en la legislación europea como aquellas "estructuras organizativas cuyos miembros sirven al interés general a través de un proceso democrático

y que actúan como mediadoras entre los poderes públicos y los ciudadanos" (EUR-Lex, s.f., p.7), lo cual es reconocido en los artículos 11 del Tratado de la Unión Europea y 15 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (Diario Oficial UE, 2012). En otras palabras, las organizaciones que encajan en dicha denominación son mediadoras entre el diálogo entre la sociedad y los órganos de gobierno en sus tres ramas o poderes tradicionales.

En Colombia, diversas organizaciones y grupos de interés que encajan en la definición de sociedad civil organizada, adelantan actividades de desarrollo, aplicación, promoción y divulgación de la ciencia y la tecnología espacial.

En primer término, se destaca la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC), la cual es de carácter privado, sin ánimo de lucro y cuyo objeto es "contribuir al desarrollo de Colombia a través de la ciencia, la tecnología y la innovación, con un espíritu crítico, interdisciplinario, incluyente e interinstitucional" (ACAC, 2017, p. 1), en particular a través de uno de sus asociados de naturaleza persona jurídica como es el Centro Internacional de Física (CIF), centro dedicado a la investigación y desarrollo tecnológico, creado en diciembre de 1985 como

una entidad sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es promover la investigación básica y aplicada, especialmente la física, el desarrollo tecnológico e industrial, en las áreas de su competencia, tanto en Colombia como en los países de la Región Andina y el Caribe (CIF, 2011a, p. 1).

Ha trabajado en proyectos orientados a la industria espacial o aeroespacial, mediante su grupo de investigación en física aplicada y desarrollo tecnológico, como es el caso del equipo demostrativo de transmisión de señales satelitales que se exhibe en el Museo Interactivo de Ciencia y Tecnología Maloka, ubicado en Bogotá, y en especial, gracias a su participación en el proyecto satelital de observación de la Tierra coordinado en 2011 por la CCE y financiado por Colciencias con el objetivo de trabajar "en los sistemas de percepción remota, comunicaciones, control, cómputo, potencia, de estructura y de propulsión, en el diseño y simulación de la órbita del satélite artificial" (CIF, 2011b).

Además, el CIF construyó una antena que está recibiendo imágenes del NOAA (Servicio Meteorológico de los Estados Unidos), y un espectrorradiómetro, clave para recoger información de los elementos que hay en tierra; se llaman firmas espectrales y permiten mejorar los modelos de procesamiento de las imágenes para detectar muchos elementos, como cultivos, incendios, zonas de inundación y de erosión. En 2009

el CIF logró la implementación de la estación terrena piloto y la descarga de imágenes satelitales (CIF, 2011b).

Al igual que la ACAC, muchas otras organizaciones y grupos de interés nacionales que encajan en la definición de sociedad civil organizada, trabajan y promueven la ciencia y la tecnología espacial en el país. La gran mayoría de organizaciones y grupos de interés se decantan por la astronomía, principalmente agrupados en la Red de Astronomía de Colombia (RAC), con un gran componente en cuanto a la divulgación y promoción de las actividades espaciales. Esta organización agrupa a la gran mayoría de personas naturales y jurídicas que desarrollan de manera profesional, autodidacta o aficionada la astronomía y disciplinas afines.

Es una organización sin ánimo de lucro que promueve el estudio y la divulgación de la astronomía para todo tipo de público; cuenta con más de 20 años de trabajo y está integrada por grupos universitarios, asociaciones de astronomía, planetarios, observatorios, grupos de instituciones educativas y cualquier otro tipo de agrupaciones de todo el país que desarrollen actividades en este campo del conocimiento (RAC, 2019b, p. 1).

Se organiza por Capítulos Regionales (Antioquia y Chocó, Bogotá y Centro, Gran Tolima, Caribe, Santanderes, Suroccidente y Eje Cafetero), contando con un total de 60 grupos afiliados activos.

Otras organizaciones no asociadas a la RAC que trabajan, fomentan y divulgan la temática espacial son:

#### *Asociación Astronáutica Colombiana (ASTCOL):*

entidad sin ánimo de lucro de carácter académico, científico y social, integrada por colombianos dentro y fuera del territorio nacional, la cual, promueve, fomenta y fortalece espacios para la formación, uso, investigación, desarrollo y divulgación de las ciencias aeroespaciales en sus diferentes áreas en Colombia, enfocando esfuerzos en la búsqueda y generación de nuevos talentos, motivando a su vez una cultura con capacidad de discernimiento en temas de Ciencia, Tecnología e Innovación CT+I (ASTCOL, 2019).

#### *C3. Comisión Colombiana de Cohetería:*

entidad de divulgación científica, que desde 2003 reúne a modelistas de cohetes de combustible sólido e hidroneumáticos. Actualmente tiene alcance nacional, princi-

palmente del Centro y el Caribe colombiano. Realiza actividades de coherería aficionada como talleres, exhibiciones, conferencias sobre temas afines y otro tipo de eventos culturales” (C3, s.f., p. 1).

### 3.4 Ciencia y tecnología espacial en actividades empresariales y emprendimientos

En la actualidad, está teniendo lugar una revolución mundial en lo que se denomina New Space. El punto de mira es desarrollar exploración espacial que involucre nuevas oportunidades de negocio y multitud de aplicaciones basadas en tecnología espacial. Esto representa una ocasión conveniente para la industria que comienza a desarrollar iniciativas alineadas con la cuarta revolución industrial, también llamada Industria 4.0. Colombia debe procurar entrar de manera activa en esta tendencia mundial que marcará el desarrollo de muchas áreas industriales en la próxima década, pero también en el crecimiento económico.

El país no ha sido ajeno al desarrollo de emprendimientos en el ámbito espacial. Dos ejemplos reconocidos en esta materia son:

Sequoia Space: la cual surgió como un spin-off del proyecto *Libertad 1* de la Universidad Sergio Arboleda. Algunos de los docentes y estudiantes que formaron parte del equipo que lo desarrolló, decidieron aprovechar la experiencia adquirida y conformar una empresa con el objetivo de ofrecer el desarrollo de proyectos tipo cubesat a universidades, centros de investigación y demás potenciales clientes en Latinoamérica y otros posibles mercados. La empresa tuvo relativo éxito, y se puede destacar su participación en el proyecto cubesat de la Universidad Alas Peruanas *UAPSat-1*, así como en las fases iniciales del proyecto de la FAC *FACSAT-1*. No obstante, la ausencia de un ecosistema y un marco legal/tributario que facilite la existencia de empresas con vocación espacial, ha sido obstáculo para el desarrollo sostenible de Sequoia Space.

Ideatech-Medellín Aeroespacial: con el apoyo financiero y logístico del Centro de Innovación y Negocios de Medellín Ruta N, “corporación creada por la alcaldía de Medellín, UNE y EPM para promover el desarrollo de negocios innovadores basados en tecnología, que incrementen la competitividad de la ciudad y de la región” (Ruta N, s.f., p. 1), en 2014 se creó la empresa Ideatech para el desarrollo de globos sonda estratosféricos y nanosatélites. En diciembre de 2014, con el apoyo de la FAC, se lanzaron dos globos sonda denominados Aurora A y Aurora B, los cuales registraron alturas aproximadas de 100.000 pies y lograron enviar toda una serie de datos de sensores,

cámaras y equipos a bordo de investigación (el tiempo.com, 2014). De manera similar a lo acontecido con Sequoia Space, la permanencia en el mercado de Ideatech ha sido difícil.

### 3.4.1 Iniciativas de clústeres aeroespaciales en Colombia.

La Red Clúster Colombia, creada entre el Consejo Privado de Competitividad e Impulsa Colombia, define las denominadas iniciativas clúster, como aquellas que permiten a las regiones que los contienen, obtener un mejor desempeño económico gracias a

enfoques que se pueden utilizar para organizar los actores relevantes locales para la definición e implementación de hojas de ruta para las apuestas productivas, a través de un enfoque de clúster; es decir, a partir de una visión más holística de actores productivos y de la utilización de herramientas diseñadas para el análisis de clústers (Red Clúster Colombia, 2019, p. 1).

Se puede entender un clúster, independientemente del sector económico al que pertenezca, como una concentración geográfica de compañías interconectadas y a su vez enlazadas a organizaciones tales como entidades oficiales, cámaras de comercio, gremios e instituciones académicas y de investigación, con el objetivo de aprovechar los efectos positivos que se producen cuando se co-localizan actividades económicas complementarias o interdependientes, en especial, la posibilidad de generar economías de escala, abaratar costos e incrementar la competitividad al punto de permitirle a las empresas e industrias agrupadas en el clúster, ofrecer a los mercados nacionales e internacionales productos de alto valor agregado a precios muy competitivos. Lo anterior permite comprender que una de las razones principales de constituir un clúster es la de aprovechar sus ventajas para insertarse en mercados internacionales en formas que serían muy difíciles de manera individual para las empresas.

En Colombia se adelantan desde hace años iniciativas de clusterización en la industria aeronáutica y aeroespacial. Específicamente, en el año 2006, paralelamente con la creación de la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), desde el denominado en aquel entonces Centro de Investigación en Tecnología Aeronáutica (CITA), hoy en día Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE), se planteó al interior de la FAC la iniciativa de conformar un clúster aeronáutico en el Valle del Cauca como forma de aglutinar y fortalecer las capacidades industriales y comerciales de la

región alrededor de una industria de alto valor agregado como lo es la aeronáutica, aprovechando que en el departamento ya se contaba con varias pequeñas empresas fabricantes de aviones livianos y ultralivianos con historial de exportación a diferentes países del mundo.

La iniciativa fue acogida por el mando institucional y se presentó la propuesta ante los diferentes actores públicos y privados de la región, entre ellos los mismos fabricantes de aviones, la gobernación del Valle y la Cámara de Comercio de Cali. Propuesta que fue acogida con entusiasmo. Sin embargo, la falta de experiencia y conocimiento de los factores de éxito para la creación y perdurabilidad de un clúster como los define Michael Porter, los cambios frecuentes de individuos con responsabilidad en el liderazgo que dieran continuidad al proyecto, la ausencia de estímulos legales y fiscales, entre otros factores, llevaron a que no se concretaran proyectos que aglutinaran a los diferentes actores y la iniciativa fuera perdiendo momento.

Ante tal panorama, en el último trimestre del año 2010, la Escuela Militar de Aviación, a través de su CITAE decidió darle un nuevo impulso al proyecto. Dispuso que el director del CITAE se desempeñara como gerente del clúster. Se preparó una visión, unos objetivos y un plan de trabajo para lograrlos y, de manera coordinada entre la Gobernación del Valle, la Cámara de Comercio de Cali y la Escuela Militar de Aviación, se convocó a reunión con las diferentes partes interesadas para relanzar la propuesta, denominada ahora Clúster Aeroespacial del Valle del Cauca, logrando nuevamente despertar el interés en el empresariado. Por espacio de aproximadamente un año y medio, el proceso de articulación de actores por medio de proyectos y apuestas productivas, la estructuración de la gobernanza del clúster y su promoción ante instancias nacionales e internacionales tuvo avances significativos, pero nuevamente cambios rápidos y sucesivos en el liderazgo en las tres entidades que lo impulsaron (Gobernación del Valle, Cámara de Comercio de Cali y Escuela Militar de Aviación) llevaron a ralentizar su avance.

El cambio de denominación a clúster aeroespacial fue producto de la intención de integrar dentro del tejido científico, tecnológico, industrial y empresarial del clúster el proyecto Lanzadera de Satélites de Órbita Baja (LSOB), en desarrollo por el CITAE y que buscaba diseñar, fabricar y probar un prototipo de cohete de combustible líquido para lanzar a la órbita baja terrestre (LEO por sus siglas en inglés-*Low Earth Orbit*) pequeños satélites de hasta 15-20 kilogramos. El concepto consistía en que de ser exitoso el cohete prototipo, se realizaría transferencia tecnológica a la industria vallecaucana para que produjera partes, componentes y software para la fabricación del mismo, como

una apuesta colombiana para ofrecer una alternativa de lanzamiento económico y viable al naciente mercado mundial de nanosatélites.

Se debe tener en cuenta que, hasta la fecha, el lanzamiento de pequeños satélites se da principalmente en condición de cargas hospedadas como parte del lanzamiento de una carga principal (satélites de 500 o más kilogramos), por lo que los propietarios de las cargas auxiliares deben someterse a las condiciones de tiempo y órbita determinados por el cliente principal. Sin embargo, la industria de nano, micro y minisatélites (1 a 10 kg, 11 a 100 kg y 101 a 500 kg, respectivamente) ha crecido exponencialmente en los últimos cinco años y para la década 2019-2029 se espera un crecimiento de entre el 600 al 900% en dicho mercado. Hasta muy recientemente, se iniciaron los primeros lanzamientos exitosos de lo que se conoce como micro-lanzadores, cohetes diseñados para colocar en órbita, de manera dedicada, satélites con masas inferiores a los 500 kg. El LSOB le apuntaba a tal nicho de mercado.

Es de mencionar que por las mismas fechas en que comenzó el proyecto LSOB, se daba inicio en Nueva Zelanda a la empresa Rocket Lab con objetivos y propuesta similares. En la actualidad, Rocket Lab, con sede comercial en Estados Unidos y base de lanzamiento y fabricación de sus cohetes en Nueva Zelanda, es reconocida por estar abriendo el mercado de micro-lanzadores con su cohete *Electron* que ya cuenta con seis lanzamientos exitosos (dos iniciales de prueba y cuatro comerciales), con 28 satélites exitosamente puestos en órbita.

Algunos años después de iniciado el proyecto del clúster aeronáutico del Valle del Cauca, se dio gradualmente la conformación de iniciativas similares en Antioquia, Risaralda y Barranquilla, lo cual no ha ocurrido en la zona Bogotá-región, a pesar de su peso económico por ser la capital política y financiera del país, de su fuerte tejido empresarial y la existencia de capacidades certificadoras, como un factor de competitividad importante. De tales iniciativas, la que ha contado con mayor estabilidad y progreso ha sido la denominada Clúster Aeroespacial Colombiano con sede en Rionegro, Antioquia, que ha sido reconocida dentro de la Red Clúster Colombia por cumplir varios de los requisitos para tal efecto. No obstante, aún faltan elementos para que las iniciativas regionales puedan ser consideradas clústers a plenitud; uno de ellos, muy importante, es que, aunque cuentan con experiencias exportadoras exitosas, su apuesta productiva aún está dirigida principalmente al mercado nacional y la esencia conceptual de los clústeres es lograr economías de mercado para desarrollar una oferta exportadora sólida.

El potencial de la industria aeroespacial como actividad económica de alto valor agregado, que requiere y genera puestos de trabajo altamente calificados y bien remunerados, que demanda ciencia, tecnología e innovación para ser competitiva, es grande en Colombia; y, la FAC ha incentivado y apoya la consolidación de las iniciativas clúster aeroespacial con miras a desarrollar dicho potencial.

## Referencias

- Agencia Nacional del Espectro (2019). *Misión y visión*. Obtenido de <https://bit.ly/2LjSGNx>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH-. (2019). *Asignación de Áreas*. Obtenido de <https://bit.ly/32kmOPz>
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing -ASPRS.Org-. (2015). *ASPRS Standards Committee*. Obtenido de <https://bit.ly/2NLSgga>
- Arias, J. (1993). *La astronomía en Colombia*. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Asociación Astronáutica Colombiana -ASTCOL-. (2019). *Nosotros*. Obtenido de <https://astcol.org.co/nosotros/>
- Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia -Acac- (2017). *Estatutos aprobados en la asamblea general de asociados de marzo de 2017*. Obtenido de <https://bit.ly/30QaYMX>
- BeiDou Navigation Satellite System. (2019). *BeiDou Navigation Satellite System overview*. Obtenido de <https://bit.ly/2UimH4m>
- Castellanos, H. (2018). *Detección de zonas mineras a cielo abierto: diseño metodológico con aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes de sensores remotos*. Bogotá, D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Centro de Innovación y Negocios Ruta N. (s.f.). *Sobre Ruta N*. Obtenido de <https://bit.ly/2NmKELt>
- Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica -CIAF- (2016). *Uso de imágenes de sensores remotos para el levantamiento físico de apoyo a los avalúos ambientales, etapa 2016*. Bogotá, D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Centro Internacional de Física -CIF- (2011a). *¿Quiénes somos?* Obtenido de <https://bit.ly/32mWmEZ>
- Centro Internacional de Física -CIF- (2011b). *Tecnología satelital*. Obtenido de <https://bit.ly/2HSGceX>
- Céspedes, A. (2019). *Uso de tecnologías satelitales en la SUMET*. Bogotá, D.C.: Fuerza Aérea Colombiana. Subdirección de Meteorología - SUMET.

- Colciencias (2014). *Funciones principales*. Obtenido de <https://bit.ly/32ka37v>
- Colciencias (2019). *Presidente Duque lanzó la Misión Internacional de Sabios, que aportará a la construcción de una sociedad con equidad*. Obtenido de <https://bit.ly/2SUKDfS>
- Comisión Colombiana de Cohetería -C3-. (s.f.). *Quiénes somos*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZEINUF>
- Comisión Colombiana del Espacio -CCE-. (s.f.). *Grupo Astronáutica, Astronomía y Medicina Aeroespacial*. Obtenido de <https://bit.ly/2MWRQcT>
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (27 de enero 2004). *Decreto 208*. Obtenido de <https://bit.ly/2HBV556>
- Departamento Nacional de Planeación (DPN). (26 de marzo de 2019). *CONPES 3958. Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multi-propósito*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de <https://bit.ly/2McYRpr>
- Diario Oficial UE. (26 de octubre de 2012). *Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. Artículo 15*. Obtenido de <https://bit.ly/32hqKQY>
- Duque, G. (2016). *Caldas, el precursor de la ciencia neogranadina*. Biblioteca Digital Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://bit.ly/2LiY3ws>
- Eltiempo.com (11 de diciembre de 2014). *¿Cuál es la misión de los globos aeroespaciales lanzados en Medellín?* Obtenido de <https://bit.ly/3125PRG>
- European GSA. (2019). *What is GNSS?* European Global Navigation Satellite Systems Agency. Obtenido de <https://bit.ly/2TWISv9>
- EUR-Lex. (s.f.). *Glosario de la síntesis*. Obtenido de <https://bit.ly/2O8vBON>
- Fuerza Aérea Colombiana. (2019). *Misión y Visión FAC*. Plan Estratégico Institucional 2011-2030. Obtenido de <https://bit.ly/2ZHFEyj>
- Fuerza Aérea Colombiana, Sistema de Información Meteorológica para Fuerza Pública y Aviación del Estado -SIMFAC-. (2019). *SIMFAC, Convenios*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZDRpKf>
- GPS.Gov. (2019). *Sistema de Posicionamiento Global al servicio del mundo*. Obtenido de <https://bit.ly/2BS8OPP>
- Indian Space Research Organization -ISRO-. (s.f.). *About ISRO*. Obtenido de <https://bit.ly/2At5xbC>
- Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales -ICDE- (2019). *¿Qué es la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales?* Obtenido de <https://bit.ly/2xxDypu>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-. (2011). *Reporte final DANE, IGAC, IDEAM. Áreas afectadas por inundaciones 2010-2011*. Bogotá, D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-. (2019). *Inicia la edición 25 de la Especialización en Sistemas de Información Geográfica SIG*. Obtenido de <https://bit.ly/2HG9IUO>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- y Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica -CIAF-. (2019). *Informe CIAF. Aportes del IGAC para la misión país en el marco de las sesiones del Comité para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (COPUOS)*. Bogotá, D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- y Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica -CIAF-. (2017). *Maestría: Gestión de la información y tecnologías geoespaciales*. Obtenido de <https://bit.ly/2zGj12M>
- International Amateur Radio Union -IARU-. (s.f.). *About IARU*. Obtenido de <https://bit.ly/30Rgizr>
- International Civil Aviation Organization -ICAO-. (2019a). *Meetings and events*. Obtenido de <https://bit.ly/2rNAleT>
- International Civil Aviation Organization -ICAO-. (2019b). *CNS/ATM Systems*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZuYuNQ>
- Jiménez, C. (2018). El Planetario tiene ingreso gratuito para los estratos 1, 2 y 3 de Medellín. *Noticias Telemedellín*. Obtenido de <https://bit.ly/32llc6S>
- Melo, A. (2018). *¿Hay cultura astronómica en Colombia?* Todo es Ciencia. Obtenido de <https://bit.ly/2LbC4Zq>
- Martínez, J. Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales -CITAE-. (18 de junio de 2019). *Informe. Respuesta preguntas capítulo Dimensión espacial de la ciencia y la tecnología en Colombia*. Cali: Fuerza Aérea Colombiana.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones -MinTIC-. (2019). *Respuesta PQR No. 191027018, mediante oficio 1116 del 14 de junio, 2019, con número de registro 192048204*. Bogotá, D.C.
- National Center for Atmospheric Research -NCAR-. (2019). *The weather research & forecasting model*. Obtenido de <https://bit.ly/2Q4THOo>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019). *Global Forecast System (GFS)*. Obtenido de <https://bit.ly/2AOHrDm>
- Presidencia de la República de Colombia. (26 de febrero de 2019). *Misión Internacional de Sabios presentó su plan de trabajo 2019*. Obtenido de <https://bit.ly/32pa6yT>
- Red de Astronomía de Colombia -RAC-. (2019a). *Plan estratégico a cuatro años para el fortalecimiento de la Red de Astronomía de Colombia RAC 2018-2022*. Obtenido de <https://bit.ly/32iqrp5>
- Red Astronomía de Colombia -RAC-. (2019). *20 años impulsando la astronomía en Colombia*. Obtenido de <https://rac.net.co/>

- Revista Arcadia (13 de enero de 2017). *Un plan para los admiradores del firmamento en Bogotá*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZJngVQ>
- Rosenberg, M., Russo, P., Blandón, G. y Lindberg, L. (2018). *La astronomía en la vida cotidiana*. International Astronomical Union. Obtenido de <https://bit.ly/2ZHjTyw>
- Red Clúster Colombia. (2019). *Glosario - conceptos clave*. Obtenido de <https://bit.ly/30Qkv6H>
- Unidad Administrativa Espacial de Aeronáutica Civil -UAEAC-. (2009). *Uso Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) en Colombia*. Obtenido de <https://bit.ly/2LjRSrZ>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones -UITI-. (2019). *Sobre la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)*. Obtenido de <https://bit.ly/2rliGlr>
- Universidad Católica de Manizales. (s.f.). *Programas-Posgrados-Maestría en Teledetección*. Obtenido de <https://bit.ly/32h793m>
- Universidad de Antioquia (2019). *Unidades Académicas-Ingeniería-Programas Pregrado-Ingeniería Aeroespacial*. Obtenido de <https://bit.ly/2BwRYFt>
- Universidad Nacional de Colombia. (20 de junio de 2019). *Maestría en Geomática*. Obtenido de <https://bit.ly/2PO2BfN>