

Capítulo 6

Constelación de observación de Colombia: un instrumento para la consolidación de la seguridad multidimensional de la Amazonía colombiana

TC. Guillermo Alberto Poveda Zamora*

TE. María Camila Villegas Jiménez**

* Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Aeroespacial. Jefe de Operaciones Espaciales FAC e investigador de la Escuela de Postgrados de la FAC. Correo electrónico: guillermo.poveda@fac.mil.co

** Magíster en Tecnologías de la Información para el Negocio MBIT. Especialista en Entrenamiento Espacial Operacional y Continuo de la Fuerza Aérea Colombiana. Correo electrónico: maria.villegas@fac.mil.co

CÓMO CITAR

Poveda Zamora, G. A. y Villegas Jiménez, M. C. (2022). Constelación de observación de Colombia: un instrumento para la consolidación de la seguridad multidimensional de la Amazonía colombiana. En *Poder multidominio y el sistema de vigilancia y protección de la Amazonía colombiana* (pp. 193–225). Escuela de Postgrados de la FAC.

Colección Ciencia y Poder Aéreo N.º 18

**PODER MULTIDOMINIO Y EL SISTEMA DE VIGILANCIA
Y PROTECCIÓN DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA**

CAPÍTULO 6.

**Constelación de observación de Colombia:
un instrumento para la consolidación de la seguridad
multidimensional de la Amazonía colombiana**

ISBN: 978-958-53696-5-8

E-ISBN: 978-958-53696-6-5

<https://doi.org/10.18667/9789585369658.06>

Bogotá, Colombia

Octubre, 2022

Introducción

Para Colombia y sus instituciones, es de gran interés tener los instrumentos necesarios para la consolidación de la seguridad multidimensional de la Amazonía colombiana, en especial para la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Por tal razón, se abordarán los antecedentes mundiales sobre la economía espacial, específicamente de observación de la Tierra, así como las capacidades espaciales de las potencias mundiales y regionales en este sector. Al final, se realiza un recuento sobre los beneficios que brindaría un sistema satelital de observación de la Tierra para Colombia y para la Amazonía, y que podrá combatir las amenazas que atañen los tiempos actuales.

Antecedentes mundiales

De cara al siglo XXI y con la alta preocupación sobre los problemas que conciernen a toda la humanidad (cambio climático, hambre, pobreza, desigualdad, etc.), la Organización de las Naciones Unidas (ONU) desarrolló la Agenda 2030 como hoja de ruta que guiará a los Gobiernos parte de esta Organización a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible y a velar por una humanidad más equitativa y consciente.

El espacio ultraterrestre se ha utilizado como una herramienta para la humanidad durante más de cincuenta años; no es nuevo en el área de desarrollo y es un recurso crítico para las naciones desarrolladas y en vías de desarrollo. Sin embargo, hay margen de mejora, especialmente a través de asociaciones que tienen un efecto multiplicador en el uso de herramientas espaciales, las cuales pueden contribuir al alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el beneficio de la humanidad y sobre todo de los países con capacidad espacial emergente (ONU, 2018, p. 5).

En esta sección del capítulo, se mostrará la evolución de la industria satelital de los países que son potencia mundial en materia espacial, su retorno a la inversión y las utilidades, tangibles e intangibles, de poseer capacidades espaciales autónomas de observación de la Tierra.

Con el fin de obtener una vista más global del acceso, la explotación y el desarrollo espacial, a continuación se muestran algunas cifras extraídas del Informe Anual sobre el Ambiente Espacial de la Agencia Espacial Europea (2019), relacionadas con el número aproximado de objetos espaciales puestos en la órbita baja (*low Earth orbit*–LEO), donde se encuentran

la mayoría de satélites de observación de la Tierra, así como los recientes lanzamientos de constelaciones de satélites de comunicaciones en LEO y su evolución desde el 1 de enero de 1960, al inicio de la carrera espacial, hasta el 1 de enero de 2020.

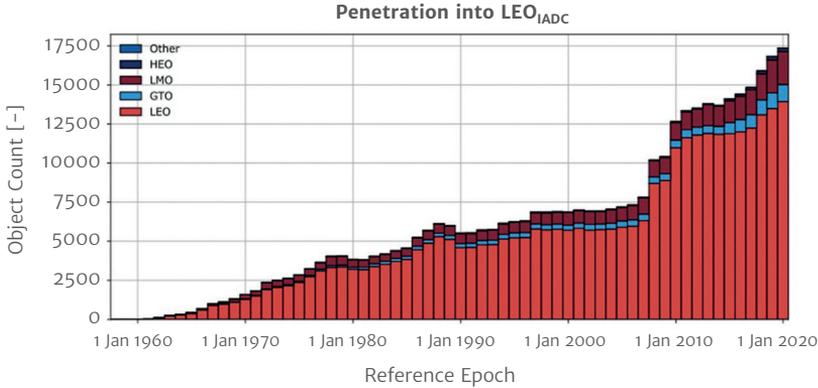


Figura 1. Evolución del ambiente en LEO
 Fuente: *Agencia Espacial Europea (2019).*

Haciendo una comparación entre las órbitas LEO y las demás respecto al número de satélites lanzados a lo largo de la historia, en la Figura 1 se identifica una predominancia en LEO gracias a sus múltiples aplicaciones y una inversión menor que la geostacionaria, la media y otras órbitas poco comunes que son usadas con otros propósitos, y cuyo costo de lanzamiento es mayor debido al combustible y a los sistemas requeridos para cumplir estos tipos de misión.

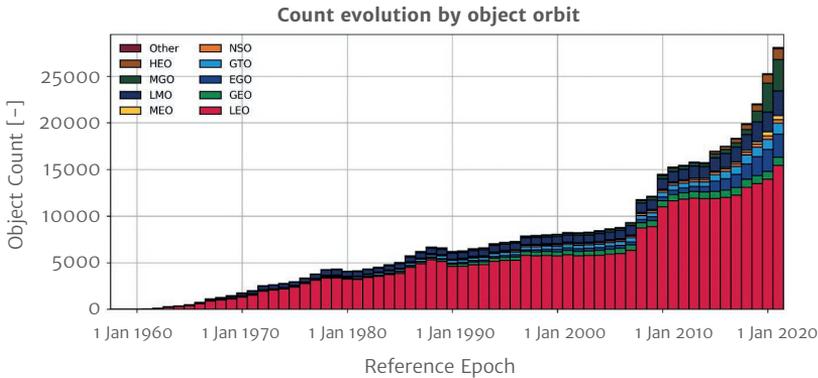


Figura 2. Evolución número objetos espaciales en todas las órbitas
 Fuente: *Agencia Espacial Europea (2019). Annual Space Environment Report.*

De acuerdo con la Agencia Espacial Europea (2019, p. 35), para finales del año 2019, el número de objetos orbitando la Tierra en LEO fue de 3294, identificados como cargas útiles que se encuentran en total funcionamiento y que cumplen con una misión específica según su sensor, inclinación, altura y tiempo de vida útil. Otros objetos que son catalogados como espaciales y que se encuentran orbitando la Tierra no se tendrán en cuenta, debido a que están relacionados con fragmentos de cohetes, de satélites, de partes de motor y, en general, con la basura espacial que supone un riesgo de colisión con otros satélites y que se estimó en 10 638 objetos para 2019 (Poveda, 2020).

Al aterrizar las estadísticas a observación de la Tierra, durante el año 2019 se enviaron al espacio 85 satélites para observar la Tierra en 31 lanzamientos, lo que representa el 30,1% del total de despegues. Estos artefactos representan un peso total de 32 970 kilogramos, equivalente a cerca de cinco elefantes de siete toneladas. Estados Unidos lideró las estadísticas con 42 satélites, seguido por China con 23 (Cavataio y Rus, 2020, p. 22). En materia de observación de la Tierra, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2020) establece tres etapas en la cadena de valor, las cuales son útiles para diferenciar las categorías en las que se encuentran los países o las industrias:

Industria *upstream*: Se refiere a la industria espacial encargada de desarrollar y fabricar la infraestructura. Esto incluye la infraestructura espacial (los satélites) y el segmento terrestre para las operaciones de los satélites (control de la misión y gestión de las cargas útiles). *Upstream* también incluye las operaciones de lanzamiento y los proyectos de investigación y desarrollo.

Industria *downstream*: Es parte de la cadena de valor de observación de la Tierra e incluye a empresas y a actores institucionales cuyas actividades giran en torno al procesamiento de datos de observación de la Tierra y la creación de servicios de valor agregado (con base en estos datos). Dichos actores tienden a ser expertos en observación de la Tierra y pueden ser percibidos como “usuarios intermedios”.

Usuarios finales: Es una base más amplia de empresas y actores institucionales para los cuales los productos derivados de observación de la Tierra son un insumo, pero su actividad principal no se centra en observación de la Tierra. Los usuarios finales tienden a no ser expertos en observación de la Tierra y, por lo tanto, suelen depender de usuarios intermedios

para tener acceso a la información de entrada y a los productos relevantes para su actividad.

Además de las aplicaciones derivadas de la tecnología de observación de la Tierra, se deben considerar los beneficios en materia económica que pueden ser extraídos de tener esta capacidad.

En el año 2017, se estimó que la economía global de observación de la Tierra estaba entre 9600 y 9800 millones de euros, dividida entre a) las ventas de satélites de observación de la Tierra (la industria *upstream* de la cadena de suministro) y b) la adquisición, el procesamiento y la transformación de datos de observación de la Tierra en productos de información para usuarios finales (la industria *downstream*). El mercado global está impulsado principalmente por la industria *upstream*, que constituye alrededor del 70 % de los ingresos totales: 7000 millones de euros. Se estima que el mercado global de observación de la Tierra *downstream* se encuentra entre 2600 y 2800 millones de euros, impulsado principalmente por aplicaciones gubernamentales, que representan entre el 50 y el 60 % de los ingresos (PwC, 2019, p. 11).

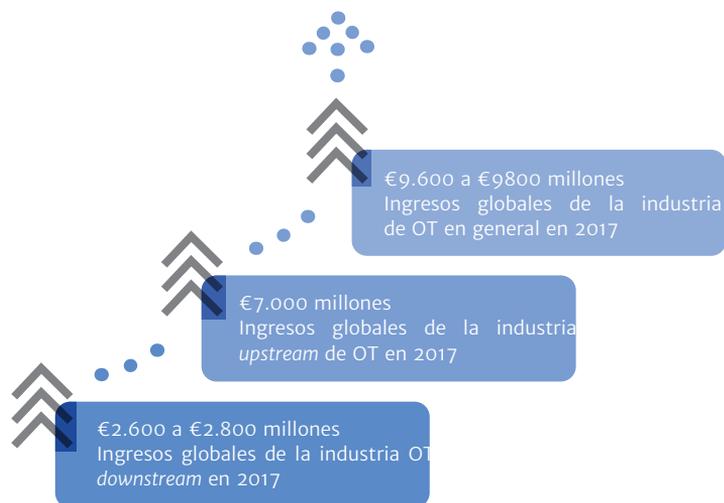


Figura 3. Etapas de cadena de valor en observación de la Tierra

Fuente: PwC (2019).

En términos de observación de la Tierra, la economía ha evolucionado y se ha democratizado gracias a la reciente aparición de la tecnología de satélites pequeños de bajo costo. La alta manufactura y la competencia entre

compañías del sector espacial por la venta de productos y servicios han reducido las barreras de entrada de países en vías de desarrollo como Colombia, lo cual permitió posicionar su primer nanosatélite de observación de la Tierra en 2018.

A continuación, se detallarán las capacidades espaciales de las potencias mundiales en materia espacial como Europa, Estados Unidos, China y Rusia, específicamente en observación de la Tierra y en el retorno de inversión de sus proyectos espaciales.

Europa: La Agencia Espacial Europea es la entidad que gestiona los recursos relacionados con el sector espacial; por tal motivo, no se tienen en cuenta los países disgregados, sino el continente y los Estados que hacen parte de dicha agencia y que aportan de alguna u otra forma a su desarrollo.

Copérnico es el proyecto de monitoreo y observación de la Tierra conformado por los satélites SENTINEL, divididos en seis misiones que han sido enviadas al espacio entre 2014 y 2020, y es financiado con fondos públicos de la Agencia Espacial Europea y terceros. Los servicios de Copérnico transforman una gran cantidad de datos satelitales *in situ* en información de valor agregado, procesando y analizando los datos, integrándolos con otras fuentes y validando los resultados. Con más de ocho petabytes al año, Copérnico es el tercer proveedor de datos más grande del mundo. Ninguna iniciativa de observación de la Tierra anterior ha proporcionado tal volumen y diversidad de datos a un ritmo tan impresionante (ONU, 2018, p. 26).

Otro de los beneficios de esta constelación satelital es que los datos completos, gratuitos y abiertos proporcionados por Copérnico respaldan los esfuerzos regionales, nacionales, europeos e internacionales para identificar, responder y adaptarse a fenómenos globales como el cambio climático, la gestión de la Tierra, la contaminación atmosférica, el estado de los mares, etc. Por tanto, Copérnico aporta beneficios no solo a los ciudadanos de la Unión Europea, sino también a toda la comunidad internacional (ONU, 2018, p. 26).

Por último, de acuerdo con el informe de mercado de Copérnico elaborado por PwC (2019), este proyecto espacial lanzado en 2008 ha tenido una inversión que alcanza los 8200 millones de euros. Durante el mismo periodo, esta inversión ha generado beneficios económicos de entre 16 200 y 21 300 millones de euros (excluidos los beneficios no monetarios). Este valor económico se genera a través del valor agregado creado en la industria espacial *upstream*, las ventas de aplicaciones basadas en Copernicus por

parte de proveedores de servicios *downstream* y la explotación de productos habilitados por Copernicus por parte de usuarios finales en varios sectores económicos. Es importante señalar que los beneficios para los usuarios intermedios y finales solo se computan para el periodo 2018-2020, mientras que los costos del programa sí se consideran a partir de 2008 (PwC, 2019, p. 5).

Estados Unidos de América: La Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA, por sus siglas en inglés) comenzó sus operaciones en 1958 y es la entidad responsable del desarrollo espacial del país norteamericano. Al igual que Copérnico, LANDSAT es el proyecto espacial en materia de observación de la Tierra más grande para Estados Unidos a nivel gubernamental, con un total de ocho satélites; se espera que siga su operación con el lanzamiento del LANDSAT-9, previsto para septiembre de 2021.

El proyecto LANDSAT, lanzado en 1972, representa la colección de datos de teledetección terrestre de resolución moderada basados en el espacio más larga del mundo que se adquiere continuamente. Casi cinco décadas de imágenes proporcionan un recurso único para quienes trabajan en agricultura, geología, silvicultura, planificación regional, educación, cartografía e investigación del cambio global. Como una iniciativa conjunta entre el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y la NASA, el proyecto LANDSAT y los datos que recopila apoyan a las comunidades gubernamentales, comerciales, industriales, civiles, militares y educativas en Estados Unidos y en todo el mundo (NASA y USGS, 2018, p. 60).

La participación en este proyecto de observación de la Tierra está dividida entre la NASA y el USGS. La NASA tiene como tarea los procesos de construcción, integración, lanzamiento y pruebas del sistema. Por su parte, el USGS se encargará del procesamiento de datos crudos, la distribución de imágenes y el archivo. En la Figura 4, se muestra la cantidad de imágenes descargadas en el portal del USGS desde su lanzamiento en 2011.

El acceso libre y abierto a las imágenes de LANDSAT ha fomentado el uso de datos de LANDSAT para abordar innumerables preguntas científicas, mejorar la gestión de recursos y respaldar una base de usuarios cada vez más grande que realiza análisis sofisticados, integrados y, a menudo, sin precedentes. El lanzamiento de LANDSAT-8 aseguró la continuidad a corto plazo de las observaciones de LANDSAT, y el lanzamiento planeado para 2021 de LANDSAT-9 proporciona una mayor continuidad de los indicadores y una capacidad para planificar la ciencia y las capacidades operativas asumiendo un flujo de datos continuo (Wulder *et al.*, 2019, p. 142).

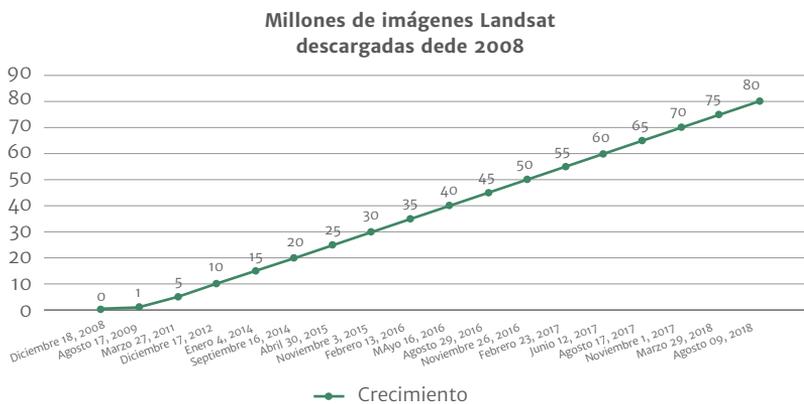


Figura 4. Número de imágenes LANDSAT descargadas desde 2008

Fuente: elaboración propia con base en USGS y NASA (2018).

En la Figura 4, se puede observar el exponencial crecimiento de descarga de imágenes en un lapso de diez años, de 2008 a 2018; esto demuestra la demanda adquirida a través de los años cuando los diferentes usuarios de tecnologías espaciales van adquiriendo experiencia en el uso transversal de las imágenes satelitales. Hace una década, la mayoría de soluciones estaban enfocadas en la inteligencia militar y la defensa, pero en la actualidad se usan en todos los sectores productivos de los países que las poseen.

De acuerdo con TRENDS (2018), en su caso de estudio “Los datos de observación de la Tierra de LANDSAT respaldan la predicción de enfermedades, las soluciones a la contaminación y más”. El último satélite del proyecto, LANDSAT-8, necesitó una inversión de 850 millones de dólares. Por su parte, para el LANDSAT-9 se estimó un costo de 1000 millones de dólares; sin embargo, la NASA solo fue financiada con 650 millones para llevarlo a cabo (TRENDS, 2018, p. 6).

En cuanto al retorno de la inversión, en el caso puntual de LANDSAT se han realizado varios estudios para determinar, en términos monetarios, cuál ha sido el beneficio para Estados Unidos y para el mundo. Lo anterior, debido a que las imágenes que reposan en el archivo del USGS son de acceso y descarga gratuita desde 2008. Sin embargo, el informe publicado por Loomis *et al.* (2015) estimó que las 2,38 millones de imágenes LANDSAT descargadas libremente en 2011 beneficiaron a la economía de Estados Unidos con entre 1800 y 2190 millones de dólares (tanto de usuarios de datos estadounidenses como internacionales).

Por otra parte, el Comité Asesor Nacional Geoespacial y el Grupo Asesor LANDSAT se basó en otros informes y encontró que solo dieciséis aplicaciones LANDSAT produjeron ahorros de entre 350 millones y 436 millones de dólares por año para los gobiernos federales y estatales, oenegés y el sector privado (National Geospatial Advisory Committee LANDSAT Advisory Group, 2014, p. 10). El estudio señala también que estos ahorros y otros que no se abordan en el documento continuarán acelerándose, “el valor económico de solo un año de datos LANDSAT supera con creces el costo total de varios años de construcción, lanzamiento y manejo de satélites y sensores LANDSAT” (National Geospatial Advisory Committee LANDSAT Advisory Group, 2014, p. 1).

De acuerdo con la información anterior, para 2020 el ahorro estaría estimado entre 3500 y 4360 millones de dólares para Estados Unidos. En materia de economía, se estima que las cifras hayan ascendido entre 18 000 y 21 900 millones de dólares solamente para la constelación LANDSAT a nivel mundial.

República Popular China: La Administración Espacial Nacional China (CNSA, por sus siglas en inglés) es la entidad encargada de liderar e implementar la mayoría de los proyectos espaciales en ese país. China ha destinado importantes recursos económicos y políticos al crecimiento de todos los aspectos de su programa espacial, desde la mejora de las aplicaciones espaciales militares hasta el desarrollo de vuelos espaciales tripulados y programas de exploración lunar. Su carrera espacial comenzó tan solo ocho meses después del lanzamiento del Sputnik; sin embargo, por políticas internas, China no lanzó su primer satélite sino hasta abril de 1970 y tomó fuerza al inicio de la década de los ochenta (Kulacki y Lewis, 2009, p. 7).

En aplicaciones de observación de la Tierra, el proyecto Gaofen es el protagonista. Su primera misión fue aprobada en 2010 y llevada a cabo en 2013, y desde entonces han mejorado sus capacidades de observación de la Tierra en cuanto a tiempo de revisita, resolución espacial y sensores. El último acierto fue el lanzamiento de Gaofen-13, puesto en órbita en octubre de 2020 en la órbita geoestacionaria con fines de observación de la Tierra.

Las imágenes de la Tierra proporcionadas por los satélites de la serie Gaofen se utilizan para una amplia gama de aplicaciones que incluyen planificación agrícola, atención en casos de desastre, monitoreo del cambio climático, mapeo geográfico, estudios ambientales y de recursos, vigilancia

marítima y seguridad nacional. Los principales usuarios de los datos de observación son el Ministerio de Tierras y Recursos, el Ministerio de Protección Ambiental y el Ministerio de Agricultura (China Space Report, 2019).

De acuerdo con el reporte oficial sobre “Actividades espaciales Chinas en 2016”, existen otras series de satélites de observación de la Tierra lanzados por China: Fengyun (meteorología), Haiyang (monitoreo oceánico), Ziyuan (mapeo y recursos), Gaofen (alta resolución), Yaogan (teledetección) y Tianhui (cartografía); la constelación de pequeños satélites para el medio ambiente y el pronóstico y la gestión de desastres naturales se han mejorado desde 2011 (State Council Information Office of the People’s Republic of China, 2016). La distribución de imágenes satelitales cuenta con un *software* similar al del USGS, el cual permite visualizar y descargar las imágenes obtenidas por los satélites chinos.

Para el año 2019, China fue el segundo país, después de Estados Unidos, en número de satélites de observación de la Tierra puestos en órbita, con un total de veintitrés. La agencia espacial china lanzó Yunhai 1-2 y tres satélites de la serie Gaofen, a los que se le sumó Ziyuan-2D, que podría tratarse de un satélite óptico de alta resolución de aplicación militar. ZeroG Lab lanzó dos CubeSat 6U para un total de seis satélites. Los otros diecisiete fueron puestos en órbita por el sector privado de China (Cavataio y Rus, 2020, p. 25).

Esta potencia espacial en 2018 invirtió aproximadamente 5,8 mil millones de dólares. Con una TCAC de cinco años del 9,4 % (11 % civil, 6,8 % de defensa), China ha mantenido una de las tasas de lanzamiento más altas del mundo, desplegando múltiples constelaciones simultáneamente, con los sistemas de observación de la Tierra Yaogen y Gaofen (Seminari, 2019).

Federación Rusa: Desde el comienzo de la carrera espacial, después de la Guerra Fría, Rusia fue pionera en el espacio con el lanzamiento del primer satélite, Sputnik-1, y el logro de situar a la primera persona en orbitar alrededor de la Tierra: Yuri Gagarin.

Si bien la economía espacial de Rusia, a través de su agencia espacial Roscosmos, está enfocada en los lanzamientos a una altura de más de 35 000 km en la órbita geoestacionaria y en la órbita alta (*high Earth orbit*-HEO), también realiza algunos lanzamientos a baja altura con cohetes más pequeños. Para 2019, Rusia puso en órbita tan solo dos satélites de observación de la Tierra, en comparación con veintidós lanzamientos por medio de cohetes que transportaron diferentes cargas útiles; entre ellos:

siete misiones al espacio exterior, cuatro de comunicaciones satelitales, dos satélites de navegación y nueve con fines de inteligencia (Cavataio y Rus, 2020).

El Sistema Ruso Espacial de Sensoramiento Remoto está compuesto por dos tipos de satélites. Por un lado, los satélites hidrometeorológicos (Electro-L y Meteor-M), que tienen como finalidad prevenir y monitorear el cambio climático como inundaciones o meteorología desde la órbita geostacionaria (*geosynchronous equatorial orbit*-GEO). Por otro lado, los satélites de alta y ultra-alta definición (Resurs-P, Kanopus-V y Kondor-FKA), de gran utilidad para la gestión de desastres naturales, la seguridad, agricultura, la deforestación, etc. (Roscosmos, 2018).

En términos de presupuesto, Rusia se vio obligada a reducir considerablemente la inversión en actividades espaciales durante los últimos siete años, inició en 2013 con 9,750 millones de dólares y llegó a los 4,200 millones en 2018. Su plan estratégico exige un aumento de la capacidad de telecomunicaciones, una reposición de sus sistemas de observación de la Tierra, una flota de lanzamiento optimizada, así como el mantenimiento de Glonass. Se prevé que el presupuesto alcance los 6 mil millones para 2028, igualando su nivel de 2011 (Seminari, 2019).

Por último, Roscosmos sigue en el *top 5* de países con capacidad espacial a nivel mundial, con la visión de retomar su lugar en la tabla, por medio de sus lanzamientos comerciales y/o militares desde sus Centros Espaciales, la cooperación internacional, la Estación Espacial Internacional, el desarrollo de misiles y satélites, el posicionamiento, las comunicaciones y la exploración espacial.

Antecedentes regionales

Al hablar de acceso, explotación y desarrollo espacial, se pueden citar algunos antecedentes regionales y sus costos aproximados como se describe a continuación:

Bolivia: Cuenta con el satélite de comunicaciones Túpac Katari TK-SAT-1, puesto en órbita en 2013 y cuyo costo aproximado fue de 300 millones de dólares (De Selding, 28 de diciembre de 2015).

Venezuela: Ha efectuado el lanzamiento de tres satélites, dos de ellos de observación de la Tierra puestos en órbita en 2012 y 2017, con un costo aproximado de 140 millones y 170 millones de dólares, respectivamente; y

uno de comunicaciones satelitales puesto en órbita en 2008, con un costo aproximado de 400 millones de dólares y que en la actualidad fue dado como pérdida total.

Perú: Cuenta con el satélite PERUSAT-1, puesto en órbita en 2016, con un costo aproximado de 140 millones de dólares. En el año 2019, la FAC asistió a las lecciones aprendidas del PERUSAT-1 en las que se conoció el costo de todo el sistema y además se evidenció el ahorro obtenido por diferentes sectores al adquirir un satélite propio de observación de la Tierra y los servicios y productos derivados que este ofrece.

Chile: Cuenta con tres satélites de observación de la Tierra, el primero de ellos fue el FASAT-Alfa, lanzado en 1995; el segundo, el FASAT-Bravo lanzado, en 1998; y el tercero, el FASAT-Charlie, también conocido como SSOT, que fue lanzado en 2011. La industria nacional chilena ha evolucionado desde la experiencia acumulada por estos satélites, generando el satélite experimental SUCHAI-1, el cual fue lanzado el 23 de junio de 2017.

Brasil: Cuenta con el Satélite CBERS-4, fabricado en consorcio Brasil-China por el Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil (INPE) y la Academia de Tecnología Espacial de China, puesto en órbita en diciembre de 2014 con un costo aproximado de 140 millones de dólares; y un satélite de comunicaciones, el Satélite Geoestacionario de Defensa y Comunicaciones Estratégicas (SGDC), fabricado por el consorcio brasileño compuesto por la compañía estatal de telecomunicaciones Telebras (49 %) y el fabricante aeronáutico brasileño Embraer (51 %), y que fue puesto en órbita en 2017, con un costo aproximado de 640 millones de dólares (Vasconcelos, 2017).

Argentina: Cuenta con el satélite SAOCOM-1B, del programa de satélites de Radar de Apertura Sintética SAOCOM, para mejorar la producción agrícola y pesquera y la gestión ambiental de Argentina (INVAP, 2020). Fue puesto en órbita en marzo de 2020, y aunque el programa ha tenido un valor aproximado de 600 millones de dólares, el satélite SAOCOM-1B tuvo un costo aproximado de 142 millones de dólares distribuidos a lo largo de cuatro años para su construcción entre 2016 y 2019 (De La Vega, 2019).

Uruguay: El primer satélite de observación de la Tierra de este país, llamado ANTELSAT, fue puesto en órbita en 2014 y a la fecha han lanzado cinco nuevos microsátélites de una serie de cien satélites que Uruguay busca poner en órbita antes de 2030; el proyecto es en apoyo de Chile, España, Israel, Rusia y China, entre otros (Castro, 2018).

El panorama anterior evidencia con claridad que la región latinoamericana avanza y desarrolla sus capacidades espaciales rápidamente en el entorno de observación de la Tierra, entre otros, lo cual constituye un reto significativo para los países y sus sociedades. El pleno aprovechamiento de los datos y las imágenes provenientes de la infraestructura de observación de la Tierra requiere capacidades en capital humano y tecnológico que, mediante herramientas como la minería de datos y la inteligencia artificial, puedan agregar valor y generar información para la toma de decisiones (Comisión Colombiana del Espacio, 2020; De La Vega, 2019). Es por esto que el rol de las instituciones académicas es fundamental, mediante la creación de grupos de investigación que generen innovación y emprendimientos con estos conocimientos (Rathnasabapathy *et al.*, 2018).

Pautas, políticas y estándares en el uso de satélites de observación de la Tierra

Entre las pautas y los estándares internacionales básicos que se consideran cuando se habla de sistemas satelitales se encuentran los siguientes:

- Estándares y procedimientos establecidos por entidades gubernamentales como la FAA (Federal Aviation Administration).
- Políticas de protección planetaria como las establecidas por COSPAR (Committee On Space Research).
- Trabajos en curso en seguridad de lanzamiento y reingreso de activos espaciales de la IAASS (International Association for the Advancement of Space Safety).
- COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space).
- ISO:24113 sobre la mitigación de desechos espaciales.
- Pautas y apoyo a las normas de mitigación de desechos espaciales de la IADC (International Association of Drilling Contractors).

Estas pautas, políticas y estándares buscan, sin considerar el fin último del sistema satelital, que este no se convierta en un problema para la humanidad cuando termine su ciclo de vida útil; es decir que cuando salga de servicio, no se conviertan en basura espacial; ese tipo de escombros orbitando la Tierra amenazan la vida debido al riesgo de colisión con otras infraestructuras en el espacio o debido a un reingreso al planeta no calculado.

Políticas públicas en Colombia

En Colombia, aparecen políticas públicas que pueden tener una profunda contribución al desarrollo de sistemas satelitales de observación de la Tierra. Primero, está el Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022: Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad, con: el “Programa 1502 - Capacidades de las Fuerzas Militares en seguridad pública y defensa en el territorio nacional”; el “Pacto 3001 - I. Pacto por la legalidad: seguridad efectiva y justicia transparente para que todos vivamos con libertad y en democracia”; y la “Línea 300101 - 1. Seguridad, autoridad y orden para la libertad: defensa nacional, seguridad ciudadana y colaboración ciudadana”. Lo anterior, por medio de actividades e iniciativas desarrolladas en las que se describen:

- Apoyar productores con asistencia técnica agro por medio de las imágenes satelitales para tener una agricultura de precisión.
- Duplicar la velocidad de la actualización catastral, dadas las características técnicas de un sistema satelital como la velocidad y la cantidad de imágenes que se pueden tomar por unidad de tiempo.
- Apoyo a empresas con fábricas de productividad, por medio de la generación de insumos para el tratamiento y el procesamiento de productos geomáticos.
- Erradicación de cultivos ilícitos, por medio de la capacidad de ubicación y monitoreo que puede entregar un sistema satelital como el mencionado.
- Reducción de la deforestación, por medio de la capacidad de monitoreo que brindan las tecnologías de observación desde el espacio.
- Inversión pública y privada en ciencia y tecnología, a través del desarrollo de conocimiento técnico en la operación de sistemas espaciales y de la generación de insumos para la investigación que contribuya a la resolución de problemas en el interior del país.

Se encuentran también actividades del Plan Plurianual, tales como: el sector agropecuario, de silvicultura y de pesca; la explotación de minas y canteras; las fuentes de electricidad, gas y agua; la información y las comunicaciones; la administración pública, etc. Por su parte, en la Política de Defensa y Seguridad en relación con iniciativas y actividades como:

- Ayuda humanitaria, atención de emergencias y desastres.
- Desarrollo y fortalecimiento de capacidades para la acción unificada.
- Coordinación, mando y control.
- Sustitución de las economías ilícitas por economías lícitas.
- Combinar acciones, recursos y herramientas para eliminar los cultivos ilícitos y la extracción ilícita de minerales.
- Desmantelamiento de infraestructura ilícita y control a maquinaria amarilla.
- Control fluvial.
- Protección integral ambiental.
- Geointeligencia.
- Innovación, inteligencia estratégica, prospectiva e inteligencia artificial.
- Fortalecimiento de la competitividad del sector empresarial, así como la ciencia, la tecnología y la innovación.
- Cooperación internacional.
- Preservación y defensa del agua, la biodiversidad y los recursos naturales como activos estratégicos de la Nación e intereses nacionales.
- Fortalecer las capacidades estratégicas del país.
- Disminuir la dependencia tecnológica.
- Reducir la brecha de capacidades espaciales militares en el escenario regional.
- Aumentar la generación de productos finales.
- Evitar la duplicidad de esfuerzos a nivel nacional.

Las actividades anteriores enfocadas al sector defensa pueden ser solventadas con un sistema robusto de observación de la Tierra y aportar al desarrollo económico, político, social y ambiental de Colombia. Esto teniendo en cuenta la Política de Defensa y Seguridad en su objetivo 8 (“poner a disposición del Estado colombiano las capacidades de la Fuerza Pública para mitigar los efectos del cambio climático, atender desastres naturales y proteger los ecosistemas”) y su objetivo 9 (“poner al servicio del desarrollo nacional, comercial, industrial y agrícola las capacidades empresariales del sector defensa”).

De acuerdo con lo expresado por el Ministerio de Minas y Energía a través de su Plan Estratégico Sectorial 2019-2022 y del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, es importante promover el acceso a insumos satelitales que permitan a todas las entidades del sector desarrollar su misionalidad

con un enfoque territorial entre el Gobierno y las regiones, sumado a un fortalecimiento de los instrumentos de control ambiental (licencias y permisos). Para el sector de minas y energía, se trabajó con la información suministrada por el ministerio y por las entidades adscritas como: la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE), la Agencia Nacional de Minería (ANM) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

Está claro que las tecnologías espaciales de observación de la Tierra son un elemento importante para soportar estrategias locales, regionales y nacionales de reducción del riesgo de desastres, lo cual se encuentra enmarcado en la Ley 1523 de 2012. A nivel mundial, en el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, se expresó la importancia de promover el acceso a datos fiables y de hacer uso de información espacial *in situ* mediante tecnologías geoespaciales. Para gestión del riesgo, se evaluaron las diferentes temáticas asociadas, tales como remoción en masa, inundaciones, eventos sismo-tectónicos, volcanes, subsidencia, sequías, fenómenos atmosféricos e incendios, entre otros.

Así mismo, de acuerdo con el Índice Municipal de Riesgo de Desastres de Colombia (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2018), son considerables las extensiones del territorio colombiano que están expuestas a diferentes tipos de amenaza. En general 32,6 millones de hectáreas (29 %) del territorio nacional tienen las condiciones más críticas de amenaza ante fenómenos hidrometeorológicos. Se requiere información geoespacial confiable por su resolución temporal para cuantificar daños y pérdidas y para hacer prevención.

Con respecto a la información básica, se incluyeron las temáticas de geología, geomorfología, cartografía base, cobertura, uso de la tierra y producción estadística. En el caso del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el análisis comprendió las temáticas de cartografía básica, catastro, agrología y las necesidades de insumos satelitales en el marco del Plan Nacional de Cartografía¹, el Conpes 3859 “Política para la adopción e implementación de un catastro multipropósito rural-urbano”, el Conpes 3958 “Estrategia para la implementación de la política pública de catastro

1 Plan Nacional de Cartografía, Resolución 1550 de 2017.

multipropósito” y el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad.

En el Plan Nacional de Cartografía, se estableció que nuestro país tiene necesidades direccionadas hacia la caracterización del territorio y hacia el acceso a herramientas útiles para la toma de decisiones enfocadas en labores de planificación, en beneficio de la mejora de la calidad de vida de la población y del desarrollo de los procesos de gestión catastral, ordenamiento, planeación, gestión ambiental, riesgos y la reforma rural integral.

A esto se suma el aporte que los insumos cartográficos brindan a la implementación de la Política de Catastro Multipropósito, al desarrollo de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) modernos (DNP, 2016) y de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET²), y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU de la Agenda 2030 Colombia (DNP, 2015).



Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Fuente: ONU (2018).

2 Decreto 893 de 2017.

En relación con la Política de Catastro Multipropósito y las metas definidas en el Plan Nacional de Desarrollo, es necesario “lograr el 60 % de actualización catastral, frente al 5,6 % de hoy. Casi duplicar la velocidad de titulación”, lo cual lleva a la necesidad de tener insumos de sensores remotos oportunos y actualizados que permitan la sostenibilidad del proceso catastral en el tiempo para las 114 091 446 hectáreas del territorio continental colombiano.

De acuerdo con la Resolución 130 del 27 de enero de 2020, “Por la cual se establecen las especificaciones técnicas del levantamiento catastral para fines de la gestión catastral con enfoque multipropósito” y sus anexos, se ha definido que la diferencia temporal entre la fecha de toma del insumo y la fecha del levantamiento catastral no debe ser mayor a cinco años en suelo rural y de tres años en suelo urbano. Sin embargo, las entidades territoriales, al momento de concebir la actualización de su información cartográfica básica oficial, podrán definir tiempos más reducidos en consideración a las dinámicas geográficas del territorio (IGAC, 2017). De aquí que la adquisición de insumos satelitales debe ser un proceso constante que garantice la actualización de la información básica y la generación de capas temáticas confiables que permitan una oportuna toma de decisiones.

Colombia debe buscar el potencial que ofrecen las tecnologías espaciales para proporcionar respuestas prácticas a los principales desafíos de la sociedad en el futuro. Esto, en un momento en el que muchas naciones alrededor del mundo están trabajando proactivamente en busca de la gestión de sus recursos estratégicos espaciales. En especial hacia el desarrollo de actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología, a fin de mejorar aspectos como la seguridad alimentaria, la gestión de recursos, la anticipación y comprensión de los impactos del cambio climático y el cómo mitigarlos, la gestión y respuesta a desastres, y la seguridad y defensa nacional, entre otros.

La visión estratégica en aspectos como la apropiación de tecnología, la identificación de potencialidades, y la caracterización y superación de barreras de entrada, es evidente en los documentos de política pública que se han elaborado en relación con este tema. Para el caso colombiano, varios intentos para adquirir activos espaciales se han realizado sin éxito; por ejemplo, los Conpes 1421/1977, 3579/2009 y 3612/2009 buscaron la adquisición de un satélite de comunicaciones que atendiera la demanda del

sector público y el Conpes 3683/2010 buscó adquirir un satélite de observación de la Tierra.

Infortunadamente, ninguna de estas iniciativas alcanzó su objetivo de dotar al país con tecnologías espaciales que permitieran desarrollar capacidades autónomas o que fomentaran estrategias de cooperación para transferencia tecnológica. Sin embargo, en este Conpes 3683/2010 se definieron las áreas prioritarias para Colombia en términos de observación de la Tierra, incluyendo el sector de seguridad y defensa nacional.

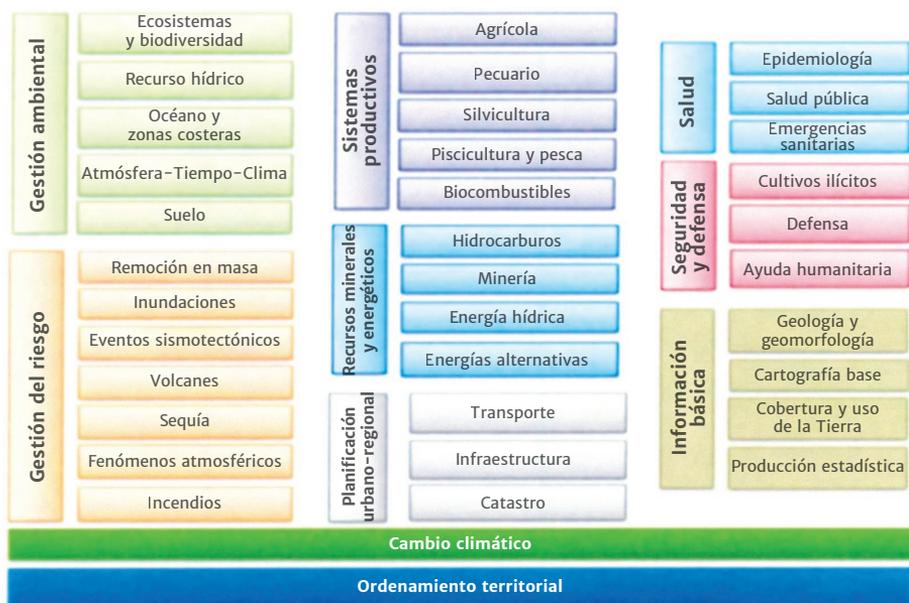


Figura 6. Áreas de interés en observación de la Tierra

Fuente: *Conpes 3683 de 2010*.

En enero de 2020, se aprobó y se firmó el Conpes 3983, cuyo objetivo es generar las condiciones habilitantes y el entorno institucional para que, con una visión a largo plazo, el sector espacial contribuya a la productividad, diversificación y sofisticación del aparato productivo del país.

Por otro lado, a pesar del progreso que se ha logrado en la implementación del Acuerdo de Paz, surgen problemas en el desarrollo de una agenda tan amplia y compleja, la cual demanda una inversión sustancial en recursos financieros, humanos y técnicos. El informe del Instituto Kroc para

Estudios Internacionales de Paz sobre el avance de la implementación señala como especialmente preocupante la falta de acceso a la tierra para los proyectos productivos de vocación agrícola, y es enfático al indicar que se necesitan mayores esfuerzos en el abordaje de las necesidades territoriales mediante el aumento de la capacidad del Estado para entregar bienes y servicios públicos. El cumplimiento de esta agenda aumentará la legitimidad del Estado y mejorará la capacidad de todos los interesados para avanzar en el desarrollo y la consolidación de la paz, que requiere una apuesta de país a mediano y largo plazo.

Beneficios del sistema satelital de observación de la Tierra

Después de exponer las capacidades regionales en materia espacial y las políticas públicas que podrían solventarse a través de aplicaciones espaciales, es necesario exponer los beneficios de un sistema de observación de la Tierra. Este tiene objetivos duales, es decir que apoyan las actividades civiles y de desarrollo de la sociedad en el interior de las instituciones del Estado colombiano. Son los siguientes:

- Proporcionar una visión global, amplia y única.
- Brindar oportunidades de colaboración y cooperación internacional con agencias espaciales internacionales.
- Inspirar el desarrollo científico y tecnológico propio por parte de científicos e ingenieros locales.
- Proporcionar incentivos para el desarrollo del sector aeroespacial en Colombia, con un alto impacto en el desarrollo económico del país.
- Permitir la adquisición de nuevos conocimientos y de transferencia tecnológica.

Con un sistema de observación de la Tierra gestionado y administrado por la FAC, se pueden impactar positivamente los sectores productivos y sostenibles del país al entregar datos derivados del análisis de las imágenes ópticas, multispectrales y de radar para el uso de las diferentes instituciones de Estado.

En la Figura 7, se muestra un resumen de los segmentos de mercados y algunas de las aplicaciones espaciales de observación de la Tierra que podrían impactar de forma positiva a Colombia.

Segmento de mercado	Aplicación 1	Aplicación 2	Aplicación 3
Agricultura	Mapeo de rendimiento	Gestión de nutrientes	Gestión de riego
Deforestación	Gestión de salud forestal	Monitoreo de incendios forestales	Cartografía de tierras forestales
Calidad del aire	Monitoreo del aire urbano	Seguimiento de contaminantes	Análisis de la calidad del aire
Costas y mares	Vigilancia zona de pesca	Pronóstico de floración de algas	Monitoreo de corrientes oceánicas
Petróleo y gas	Monitoreo de yacimientos petrolíferos en tierra y altamar	Monitoreo de oleoductos	Posicionamiento de gasolineras
Energías renovables	Selección sitio	Pronóstico de producción de energía	Pronóstico de producción de energía
Monitoreo urbano	Catastro y cartografía territorial	Monitoreo del calor urbano	Monitoreo de infraestructura
Desastres naturales	Pronóstico de riesgo para amenazas	Apoyar la alerta y respuesta tempranas	Apoyo al seguro
Seguridad y defensa	Vigilancia fronteriza	Detección e identificación y cultivos ilícitos	Apoyo a las operaciones de búsqueda y rescate

Figura 7. Aplicaciones de observación de la Tierra

Fuente: PwC (2019).

Agricultura

Las principales potencialidades en materia de uso del suelo se asocian con el conocimiento de la vocación del suelo, el monitoreo de los diferentes cultivos y usos, el modelado para identificar los factores que causan mejores rendimientos, los riesgos asociados a pérdidas y afectaciones de cultivos, y con los factores que influyen en la degradación de la tierra, entre otros. Todos se pueden utilizar en las organizaciones que proporcionan financiación a pequeños productores para reducir la incertidumbre y, por lo tanto, hacer que las finanzas sean más accesibles y asequibles (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

De acuerdo con la Agencia Espacial del Reino Unido, las soluciones espaciales para el sector agrícola se agrupan en tres áreas temáticas. La primera

tiene que ver con las herramientas de apoyo a la decisión para aumentar la producción de alimentos de manera sostenible, gestionar los recursos naturales y realizar una eficiente utilización de los insumos para optimizar las cadenas de suministro y construir la trazabilidad.

La segunda son los sistemas de alerta temprana: se refiere a la posibilidad que brinda la observación de la Tierra para precisar brotes de plagas y enfermedades o la ocurrencia de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones, y los factores ambientales asociados con el inicio de tales eventos, lo cual permite tomar medidas de mitigación para prevenir o reducir las pérdidas.

Por último, están los productos de seguros y créditos: la observación de la Tierra permite el mapeo preciso del uso de la tierra y el monitoreo de los cambios en los cultivos y en la tierra misma. Estos datos son útiles para las compañías financieras que necesitan acceso a datos sobre la tierra utilizada por los productores a fin de ofrecerles productos financieros como seguros o créditos.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de cómo la observación de la Tierra está siendo utilizada en otros países y sus consecuentes beneficios. La Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido utiliza los datos del mapa de cultivos para identificar los factores de riesgo que pueden contribuir a la contaminación del agua agrícola. Si estos datos se utilizan para apoyar acciones para mitigar esta contaminación en solo el 1%, los beneficios catalíticos totales se estiman en 12,3 millones de libras esterlinas por año (Sadler *et al.*, 2018, p. 19).

Por su parte, en India los datos de observación de la Tierra se han utilizado para apoyar y mejorar la toma de decisiones en torno a fechas de siembra óptimas. Al reunir evidencia experimental con tales datos, se estimó que la decisión de sembrar trigo una semana antes condujo a una ganancia de rendimiento general del 5% a nivel nacional en promedio (United Kingdom Space Agency, 2018, p. 24).

En cuanto a la región, las predicciones de rendimiento de la soya en Brasil son de gran interés para el comportamiento del mercado, con la idea de impulsar las políticas gubernamentales y aumentar la seguridad alimentaria mundial. En Brasil, los datos de rendimiento de la soya generalmente exigen varias revisiones durante los siguientes meses después de la cosecha, lo cual sugiere que hay espacio para mejorar la precisión y el tiempo de las predicciones de rendimiento. Para ello, el Gobierno brasileño

emplea imágenes satelitales y algoritmos de aprendizaje automático, con el fin de predecir la productividad de los cultivos (Schwalbert *et al.*, 2020).

Como herramienta de apoyo, los satélites ópticos muestran qué tan bien están creciendo los cultivos al medir cómo estos absorben la radiación solar en el espectro visible y en el infrarrojo cercano para producir un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). Este índice es proporcional a la cantidad de clorofila en los cultivos (la clorofila más alta refleja más luz en los espectros verde e infrarrojo), la cual cambia a medida que los cultivos crecen o su salud se altera (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

Esta información permite a los agricultores predecir el rendimiento de sus cultivos y reaccionar en las áreas de mayor preocupación aplicando los fertilizantes adecuadamente. Conocer esta información antes de cosechar es importante, sobre todo en caso de que existan predicciones bajas de productividad, con el objetivo de tomar decisiones oportunas (STARS Project, 2020). Las imágenes de alta resolución son tan precisas para hacer predicciones de productividad como lo son las mediciones tradicionales en campo.

El estudio de Burke y Lobell (2017) señala dos factores importantes para aumentar la precisión de las predicciones: i) una mayor frecuencia de las imágenes y ii) la resolución; su análisis concluye que las imágenes de 1 m de resolución proveen un 25 % más de precisión que aquellas de 10 m (SENTINEL) y 50 % más que las de 30 m (LANDSAT). La ventaja económica de tener información oportuna puede impactar la productividad del cultivo entre el 2 y el 20 % (AGDAILY, 2019; Gil, 2016).

El Estado colombiano, en cabeza del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y sus entidades adscritas, ha sido consumidor de insumos de observación de la Tierra a escalas generales a través de los recursos disponibles por institutos técnicos como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Con ello, ha producido estudios a escalas 1:100 000 para la toma de decisiones en materia agropecuaria como, por ejemplo, la definición de la frontera agrícola y de las áreas potenciales para adecuación de tierras con fines de irrigación.

En el caso de monitoreo de los brotes de plagas, se puede usar una variedad de datos satelitales a diferentes escalas para introducir, en los modelos de riesgo de plagas, la información ambiental que necesitan, incluidos

los datos sobre temperatura, humedad y viento, esto es, los factores ambientales que impulsan el crecimiento, la propagación y la mortalidad de una población de plagas. A manera de ejemplo, Cenipalma reporta que las pérdidas económicas por la pudrición del cogollo en la última década alcanzaron un valor de 2699 millones de dólares. Las imágenes satelitales adecuadas podrían ayudar a fortalecer la inspección, la vigilancia y el control de los cultivos, así como a destinar eficientemente los recursos para prevenir y manejar la pudrición del cogollo.

En la actualidad, en el marco de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y del Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022, a través del Pacto por el Emprendimiento, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural considera que el uso de observación de la Tierra con la mejor resolución posible es un insumo importante. Este uso permite llegar a alcanzar los propósitos de formalizar y aumentar la capacidad de emprendimiento y la dinamización empresarial, generar alianzas para dinamizar el desarrollo y la productividad de la Colombia rural, e incrementar la inversión en el campo, entre otros, para lograr mejores ingresos y trabajos de calidad, oportunidades de crecimiento para los pequeños productores, y el aprovechamiento del potencial rural. Todos son beneficios asociados con:

- Censos agrícolas y mejoramiento de la producción agropecuaria.
- Determinación de la vocación y el uso del suelo.
- Planeación de operaciones diarias o por temporadas.
- Estimación de rendimiento de cultivos, cosechas y actividad agrícola regional.
- Monitoreo de daños causados por el cambio climático.
- Control de cultivos prioritarios.
- Estimación de seguros para cosechas.

Procesos de desarrollo urbano y rural

Se enfoca principalmente en la creación de empleo calificado, en la localización de concentración de personas desplazadas para comprender la gravedad de la inseguridad alimentaria, en la verificación permanente del uso del suelo en área urbana y rural, y en el cumplimiento de acuerdos de paz en el tema de tierras.

Catastro multipropósito

En los últimos gobiernos, se le ha dado una alta importancia a este sector. Las tecnologías espaciales son de gran aporte para el monitoreo de infraestructura, la planificación y crecimiento urbano; para la determinación de hogares que tienen (o no), acceso a mercados, educación, centros de recreación y otros recursos críticos; para la localización de concentración de personas; para el estudio de catastro multipropósito urbano y rural; y por último, para la identificación de nuevos bienes y cambios en los existentes.

Medio ambiente, recursos naturales y cambio climático

Los recursos naturales limitados de nuestro planeta se preservan a través del monitoreo de recursos y parques naturales, deforestación y áreas marinas protegidas; a su vez, mediante el seguimiento de acuerdos internacionales (Protocolo de Kioto), el cambio climático y el análisis de contaminación de suelos y cuerpos de agua.

Hidrocarburos, petróleo y gas natural

Para este sector, es necesario preservar los recursos naturales finitos a través del monitoreo de campos de petróleo y gas natural (424 campos petroleros operando en el país, constituidos como parte de la infraestructura crítica). Igual ocurre con el monitoreo de los oleoductos y los gaseoductos, sabiendo que tenemos 16 300 km de ductos en Colombia.

Por otra parte, están la producción en refinerías de petróleo y las operaciones mar adentro (cinco puertos de exportación e importación de hidrocarburos en ambas costas). Y, por último, el monitoreo de impacto ambiental derivado de las actividades anteriores.

Explotación minera

Colombia cuenta con 500 000 km² de área estratégica minera, por lo cual se consideran importantes los mapas geológicos, el monitoreo de procesos y extracción minera, el monitoreo de minería ilegal, afectación y gestión de los municipios en la reducción de este fenómeno criminal, y la minimización del impacto ambiental en el desarrollo de estas actividades.

Gestión del riesgo y atención de desastres

El territorio colombiano se caracteriza por su diversidad y complejidad tectónica, geomorfológica, geológica, hidrológica y climática, las cuales se manifiestan en una serie de fenómenos que constituyen amenazas potenciales para el desarrollo social y económico. El país presenta la tasa más alta de Latinoamérica en cuanto a desastres recurrentes provocados por fenómenos naturales, con un promedio de más de seiscientos eventos reportados cada año, y ocupa el décimo lugar a nivel mundial de más alto riesgo económico derivado de dos o más peligros a causa de desastres. Según el Grupo Banco Mundial (2014), el 84,7 % de la población y el 86,6 % de los activos están localizados en áreas expuestas a dos o más peligros naturales (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

El Atlas de Riesgo de Colombia (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2018) revela los mapas de amenaza por distintos fenómenos que pueden afectar el territorio nacional (sismos, tsunamis, ciclones tropicales, incendios forestales, sequías, movimientos en masa), así como las evaluaciones probabilistas de riesgo a nivel municipal por cuatro fenómenos: sismos, inundaciones, tsunamis y ciclones tropicales. Este informe señala que el departamento de Antioquia y la ciudad de Bogotá concentran aproximadamente el 41 % del valor expuesto total del país; la pérdida anual esperada por sismo en el país es de 9 935 418 millones de pesos, y la pérdida anual esperada por inundaciones es de 2 198 208 millones de pesos (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

En particular, los fenómenos recurrentes de origen hidrometeorológico, como las inundaciones, las sequías y los movimientos en masa, afectan a todas las regiones del país y han generado impactos económicos y sociales de gran magnitud. Para el periodo 2013–2018, se estimó que las pérdidas económicas en cultivos para dicho periodo fueron del orden de 224 063 032 211 pesos, mientras que las pérdidas económicas estimadas en el sector vivienda para el mismo periodo fueron del orden de 1 495 640 078 328 pesos (UNGRD, 2018).

De acuerdo con el análisis del informe “Impactos económicos del cambio climático en Colombia”, adelantado por el DNP y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2014), los desastres de origen climático y sus consecuencias han estado asociados con caídas del PIB a largo plazo de 1,5 %. Este informe señala que de aumentarse la inversión pública en prevención

de desastres al 1% del gasto público actual, se esperaría que la tasa de desastres se redujera en 60% (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

Aunque es difícil determinar el efecto de la observación de la Tierra derivada de satélite en el rendimiento de los modelos de pronóstico de inundaciones, el Banco Mundial señala que el acceso universal a los sistemas de alertas tempranas puede reducir un promedio de 20% la pérdida de activos derivada de eventos como tormentas, inundaciones y tsunamis (Hallegatte *et al.*, 2016, p. 137). Otros beneficios asociados son:

- Prevención y monitoreo en zonas de riesgo, inundables, de afectación volcánica, de incendios, de derrumbes, etc.
- Aglomeraciones de público.
- Monitoreo durante desastres.
- Análisis posterior a desastres como inundaciones, terremotos, tsunamis, derrumbes e incendios (ayuda humanitaria).
- Estimación de áreas de afectación y pérdidas por desastres naturales.
- Una alta resolución temporal es esencial para situaciones de emergencia, porque estas cambian rápidamente y requieren observaciones frecuentes durante el día.
- Búsqueda de siniestros aéreos, marítimos y terrestres.

Salud

En cuanto a la salud, se destaca el monitoreo de la calidad del aire y el agua, el control de epidemiología y el monitoreo en avance de enfermedades, así como otras políticas de salud pública.

Ecosistemas y biodiversidad - gestión ambiental

La adquisición, el procesamiento y la interpretación de imágenes satelitales ofrecen grandes posibilidades para mejorar el conocimiento acerca de la naturaleza y contribuir a enfrentar oportunidades y desafíos asociados a los ecosistemas y a la biodiversidad. En términos generales, la información obtenida con la tecnología de observación de la Tierra se ha utilizado en la identificación de las propiedades estructurales y funcionales de los ecosistemas, en la cuantificación de la biodiversidad, en el modelado de la distribución de especies, en la vigilancia y el control de eventos o acciones

que llevan a la pérdida de ecosistemas, o que deterioran la oferta y calidad de servicios ecosistémicos, o que representan riesgos para las poblaciones, así como en la planificación y el diseño de estrategias efectivas de conservación, uso sostenible de la biodiversidad, y reducción del riesgo y manejo de desastres relacionados con recursos naturales (Ancira y Treviño, 2015; Rocchini *et al.*, 2015; Sánchez-Díaz, 2018; Shirley *et al.*, 2013).

En la gestión del recurso hídrico, el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos y otros programas de la ONU se sirven de la tecnología espacial para levantar mapas de distribución y disponibilidad de los recursos hídricos, medir los efectos de las sequías e inundaciones, y acopiar información sobre los usos del agua en esferas como la silvicultura y la agricultura (United Nations Office for Outer Space Affairs [UNOOSA], 2006). Así mismo, se usa información de observación de la Tierra para evidenciar las tasas de recuperación de áreas y hacer seguimiento de las especies invasoras que puedan afectar la salud de los ecosistemas (Escobar, 2016), y para evitar o minimizar la captura incidental de especies no utilizadas o no gestionadas (Buckerfield, 2013).

Entre los principales problemas socioambientales del país se destacan la deforestación, la degradación de los ecosistemas y la subsecuente reducción de biodiversidad. Esta última es evidente en la pérdida de 1,5 millones de hectáreas de bosque entre 2005 y 2015, en las grandes extensiones de áreas deforestadas (por ejemplo, 178 597 ha en 2016, 219 973 ha en 2017 y 197 159 ha en 2018), y en la pérdida del 17 % del área de páramos del país en los últimos veinte años (Ideam, 2019).

Las problemáticas anteriores, sumadas a los efectos del cambio climático, llevan al agotamiento del capital natural y al incremento de la vulnerabilidad ante los eventos climáticos extremos; a su vez, imponen costos severos, que limitan la capacidad de cumplir con metas para el desarrollo y la gobernabilidad, y obstruyen el avance de compromisos internacionales (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

Un ejemplo de la aplicación de observación de la Tierra en Colombia es a través del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Desde 2012, se genera información acerca de la superficie de bosque y la deforestación con base en el uso costo-efectivo del procesamiento digital semiautomatizado de imágenes de satélite e información de campo. Esta información ha reconstruido la dinámica del bosque en Colombia en los últimos diecinueve años, y ha permitido un ahorro del 40 % del costo de procesamiento

frente a técnicas tradicionales. Así mismo, se generó la información base en la estructuración del programa REM Visión Amazonía para la reducción de la deforestación, lo cual ha permitido la inversión por cooperación internacional en la Amazonía para el periodo 2017-2021 (Comisión Colombiana del Espacio, 2020).

Finalmente, el DNP y el BID (2014), con base en los escenarios para el clima futuro del Ideam, estiman que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sería negativo. Contando solo con los impactos analizados en este estudio, de 2011 a 2100 en promedio habría pérdidas anuales del PIB del 0,49 %. Esto significa que cada año el PIB sería 0,49 % menor que en un escenario macroeconómico sin cambio climático.

El ejemplo anterior, junto con otros casos del sector ambiental consultados en el desarrollo de esta evaluación, evidencian la necesidad de implementar nuevos enfoques y herramientas para el estudio y la conservación de la biodiversidad, utilizando la teledetección como una herramienta para apoyar procesos de toma de decisiones en gestiones de conservación de la biodiversidad en todo el mundo (Sánchez-Díaz, 2018).

Con lo ya expuesto, tanto las potencias mundiales como los países que están en vías de desarrollo le están apostando a la inversión en infraestructura espacial de observación de la Tierra, en busca de mitigar los principales problemas actuales que atañen a todo el planeta debido al cambio climático, la pobreza, la minería ilegal, la deforestación, etc. La Amazonía debe ser preservada con el fin último de que las futuras generaciones tengan la certeza de que podrán continuar la existencia en la Tierra.

Referencias

- AGDAILY. (2019). *New satellite crop monitoring technology boost farm efficiency*. <https://www.agdaily.com/technology/satellite-crop-monitoring-efficiency/>
- Agencia Espacial Europea. (2019). *ESA's Annual Space Environment Report*. *ESA Space Debris Office*. https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf
- Ancira-Sánchez, L. y Treviño Garza, E. J. (2015). Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*, 21(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2015.211434>
- Buckerfield De la Roche, A. (2013). The merger of two global commons: The need for new governance. *Space Policy*, 29(2), 159-163. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2013.03.013>

- Burke, M. y Lobell, D. B. (2017). Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(9), 2189-2194. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616919114>
- Castro, M. (2018). Satélites uruguayos a 25000 km/h. *El Observador*. <https://www.elobservador.com.uy/nota/satelites-uruguayos-a-25-000-km-h-20187165150>
- Cavataio, P. y Rus, G. (2020). *Industria espacial 2019*. OiNK. http://latamsatelital.com/wp-content/uploads/2020/03/Industria_Espacial_2019_OiNK_L.pdf
- China Space Report. (2019). *Gaofen (High Resolution)*. <https://chinaspacereport.wordpress.com/spacecraft/gaofen/>
- Comisión Colombiana del Espacio. (2020). *Informe Costo-beneficio de la Observación de la Tierra*. Comisión Colombiana del Espacio.
- De La Vega, C. (2019). *Los secretos del SAOCOM*. <http://www.unsam.edu.ar/tss/los-secretos-del-saocom/>
- De Selding, P. B. (2015, 28 de diciembre). *Bolivia's TKSAT-1 expected to generate \$500 million*. <https://spacenews.com/bolivias-tksat-1-expected-to-generate-500-million/>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2014). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Síntesis*. DNP.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). *Índice municipal de gestión del riesgo de desastres en Colombia*. DNP.
- Escobar, J. (2016). *La reforestación en Colombia: Incluyente y moderna*. <https://agronegociospre.uniandes.edu.co/2016/09/la-reforestacion-en-colombia-incluyente-y-moderna/>
- European Union. (2019). *Copernicus Market Report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2873/011961>
- Gil, E. (2016). Situación actual y posibilidades de la agricultura de precisión. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/331853/28038-3918.pdf>
- Grupo Banco Mundial. (2014). *Hacia la paz sostenible, la erradicación de la pobreza y la prosperidad compartida. Notas de política: Colombia*. Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/content/dam/Worldbank/Feature%20Story/lac/Colombia%20Policy%20Notes%20pub%20SPA%2011-7-14web.pdf>
- Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Bangalore, M. y Rozenberg, J. (2016). *Unbreakable: Building the resilience of the poor in the face of natural disasters*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1003-9>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2019). *Resultados Monitoreo de la Deforestación. Visión Amazonía*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). *Plan Nacional de Cartografía*. IGAC.
- INVAP. (2020). *INVAP en la misión SAOCOM*. <http://saocom.invap.com.ar/>
- Kulacki, G. y Lewis, J. G. (2009). *A place for one's mat: China's space program, 1956-2003*. Grantee Publication. <https://www.carnegie.org/publications/a-place-for-ones-mat-chinas-space-program-19562003/>

- Loomis, J., Koontz, S., Miller, H. y Richardson, L. (2015). Valuing geospatial information: Using the contingent valuation method to estimate the economic benefits of LANDSAT satellite imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(8), 647-656. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009911215302068>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) y United States Geological Survey (USGS). (2018). *LANDSAT, Benefiting society for fifty years*. <https://doi.org/NP-2018-08-261-GSFC>
- National Geospatial Advisory Committee LANDSAT Advisory Group. (2014). *The Value Proposition for LANDSAT Applications*. <https://www.fgdc.gov/ngac/meetings/december-2014/ngac-landsat-economic-value-paper-2014-update.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2020). *Measuring the economic impact of the space sector: Key indicators and options to improve data*. <http://www.oecd.org/sti/inno/space-forum/measuring-economic-impact-space-sector.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2018/08/sabes-cuales-son-los-17-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Poveda Zamora, G. A. (2020). Revisión teórica y aplicación práctica de las ciencias del espacio para reducir el consumo de combustibles en cohetes y vehículos espaciales. *Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 152-160. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.657>
- PwC. (2019). *Space extracting value from EO data*. <https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2019/06/fr-pwc-space-extracting-value-from-eo-data-2.pdf>
- Rathnasabapathy, M., Stober, K. & Wood, D. (2018). *Challenges and progress in applying space technology in support of the sustainable development goals*. Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2018-October. <https://dl.iafastro.directory/event/IAC-2018/paper/47754/>
- Rocchini, D., Andreo, V., Förster, M., Garzón-López, C. X., Gutiérrez, A. P., Gillespie, T. W. y Neteler, M. (2015). Potential of remote sensing to predict species invasions. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 39(3), 283-309. <https://doi.org/10.1177/0309133315574659>
- Roscosmos. (2018). *Roscosmos proposals for Asia-Pacific Plan of Action for Space Applications (2018-2030)*. <https://www.unescap.org/sites/default/files/Committee%20Member%20Presentation-Russian2.pdf>
- Sadler, G., Flytkjaer, R., Sabri, F. y Robin, N. (2018). *Value of satellite derived Earth Observation capabilities to the UK Government today and by 2020*. London Economics. <https://london-economics.co.uk/wp-content/uploads/2018/07/LE-IUK-Value-of-EO-to-UK-Government-FINAL-forWeb.pdf>
- Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 3(33), 243-253. <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>

- Schwalbert, R. A., Amado, T., Corassa, G., Pott, L. P., Prasad, P. V. V. y Ciampitti, I. A. (2020). Satellite-based soybean yield forecast: Integrating machine learning and weather data for improving crop yield prediction in southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 284, 107886. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107886>
- Seminari, S. (2019). *Global government space budgets continues multiyear rebound*. <https://spacenews.com/op-ed-global-government-space-budgets-continues-multiyear-rebound/>
- Shirley, S. M., Yang, Z., Hutchinson, R. A., Alexander, J. D., McGarigal, K. y Betts, M. G. (2013). Species distribution modelling for the people: Unclassified LANDSAT TM imagery predicts bird occurrence at fine resolutions. *Diversity and Distributions*, 19(7), 855–866. <https://doi.org/10.1111/ddi.12093>
- STARS Project. (2020). *Potential uses of remote sensing in smallholder context*. <https://www.stars-project.org/en/knowledgeportal/magazine/potential-uses-of-remote-sensing-in-smallholder-context/>
- State Council Information Office of the People's Republic of China. (2016). *China's Space Activities in 2016*. <http://www.scio.gov.cn/wz/Document/1537091/1537091.htm>
- Trends. (2018). *Landsat's Earth Observation Data Support Disease Prediction, Solutions to Pollution, and More*. Global Partnership for Sustainable Development Data. https://static1.squarespace.com/static/5b4f63e14eddec374f416232/t/5bacd7f2b208fc8541817444/1538054151334/CaseStudy_Landsat_Sept2018.pdf
- United Kingdom Space Agency. (2018). *Space for Agriculture in Developing Countries*. <https://www.caribou.space/library/space-for-agriculture-in-developing-countries/>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). *Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia*. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27229>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). *Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes*. UNGRD.
- United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA). (2006). *Soluciones espaciales a los problemas del mundo*. <https://www.unoosa.org/pdf/publications/IAM2005S.pdf>
- United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA). (2018). *Space Supporting the Sustainable Development Goals*. https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2018/EGNSSCopernicusEbook/SDGs_EGNSSCopernicus_eBook.pdf
- Vasconcelos, Y. (2017). *Un nuevo satélite de comunicaciones*. Pesquisa FAPESP, (256). <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/un-nuevo-satelite-de-comunicaciones/>
- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., Huntington, J., et al. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>