



# ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOS SATÉLITES MEXICANOS Y LAS CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA

Perspectivas de las  
posiciones orbitales  
mexicanas de la nueva  
generación de satélites  
incluyendo el espectro  
radioeléctrico

Morelos 2. Fuente: NASA.



**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**AEM**  
AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA



# **ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOS SATÉLITES MEXICANOS Y LAS CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA**



**Perspectivas de las posiciones orbitales  
mexicanas de la nueva generación  
de satélites incluyendo el  
espectro radioeléctrico**



# ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOS SATÉLITES MEXICANOS Y LAS CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA

Perspectivas de las posiciones orbitales  
mexicanas de la nueva generación  
de satélites incluyendo el  
espectro radioeléctrico



**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**AEM**  
AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA

El contenido de este documento puede ser utilizado para fines académicos y de divulgación, que impulsen el desarrollo del sector espacial mexicano, siempre y cuando se cite debidamente la fuente y se dé el crédito correspondiente a las instituciones y organismos que participaron en su elaboración.

Nada de lo que contiene este libro debe considerarse como una prestación de asesoría legal para un caso específico; los lectores son responsables de obtener dicha asesoría por parte de su consejero legal. Este libro es destinado únicamente para fines educativos y de divulgación.

**Derechos Reservados @ 2023.**

Agencia Espacial Mexicana

**Título original:**

Análisis del desarrollo de los satélites mexicanos y las constelaciones de órbita baja

**ISBN:**

978-607-59988-0-0

---

**Dirección editorial:**

Jimena Pastrana Hermoso.

**Diseño de portada:**

Jimena Pastrana Hermoso y  
Josoeef Emmanuel Canon Guerrero.

**Diseño y diagramación de interiores:**

Jimena Pastrana Hermoso.

---

**Primera edición:**

Diciembre de 2023.

Impreso en México.



DOI.ORG/10.52501/CC.169

**Impreso por Ediciones Comunicación Científica, S.A. de C.V.**

Domicilio: Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,  
Col. Crédito Constructor, Alcaldía Benito Juárez,  
Ciudad de México, C.P. 03940.

# Coautores

Dr. Salvador Landeros Ayala  
**Director General**  
**Agencia Espacial Mexicana**

---

Alberto Lepe Zúñiga

**CG Desarrollo Industrial, Comercial  
y Competitividad en el Sector Espacial**

Adán Salazar Garibay

**CG Investigación Científica  
y Desarrollo Tecnológico Espacial**

---

Verania Echaide Navarro

**Gerente de Relaciones Públicas  
y Control de Gestión**

Bereniz Abril Castañeda Talavera

**Dir. de Innovación  
y Competitividad**

---

José Francisco Romero Aguilar

**Director de Investigación  
Científica Espacial**

Dionisio Tun

**CG Desarrollo Industrial,  
Comercial y Competitividad**

---

Antonio de Jesús Serrano Arellano

**Gerente de Fomento  
y Promoción**

Iván Cornejo

**Gerente de Desarrollo  
Gubernamental**

---

Luis Francisco Rodríguez Jiménez

**Gerente de Comercialización**



**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**AEM**  
AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA

# Colaboradores

Jimena Pastrana Hermoso

**Diseño Gráfico y Editorial**

---

Josef Emmanuel Canon Guerrero

**Gerente de E-Aprendizaje y de E-divulgación  
en Ciencia y Tecnología Espacial**

---

Surisaddai Espinosa Basave  
Carolina Villa Blancas

**Apoyo para Diseño Gráfico**



**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**AEM**  
AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA

# Índice

<b>I</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>II</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>21</b>
	2.1 Objetivos específicos	22
	2.2 Alcance	22
<b>III</b>	<b>SATÉLITES GEOESTACIONARIOS</b>	<b>23</b>
	3.1 Antecedentes	24
	3.2 Situación actual	31
	3.2.1 Contexto internacional y la UIT	31
	3.2.2 Contexto nacional y el IFT	33
	3.3 Nuevas tecnologías	61
	3.3.1 Satélites de alto rendimiento (HTS, por sus siglas en inglés)	61
	A. Perspectivas de crecimiento	62
	B. Satélites de muy alto rendimiento (VHTS, por sus siglas en inglés)	64
	C. Efectos del uso de tecnologías HTS y VHTS	75
	3.3.2 Nuevas tecnologías en comunicaciones satelitales para los próximos 25 años	76
	3.3.3 Satélites geoestacionarios pequeños (S-GEO)	80
	3.3.4 Equipo terrestre	83
	3.3.5 Prospectiva y tendencias tecnológicas	84
<b>IV</b>	<b>CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA DE TELECOMUNICACIONES</b>	<b>89</b>
	4.1 Antecedentes	92
	4.2 Situación actual	95
	4.2.1 Proyección de la demanda	118
	4.3 Nuevas tecnologías	126
	4.4 Equipo terrestre	131

<b>V</b>	<b>CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA EN OBSERVACIÓN DE LA TIERRA</b>	<b>135</b>
	5.1 Antecedentes	136
	5.1.1 Antecedentes en México	139
	5.2 Situación actual	140
	5.2.1 Proyección de la demanda	147
	5.3 Nuevas tecnologías	149
	5.3.1 Tecnologías y tendencias futuras	153
	5.4 Equipo terrestre	160
	5.4.1 Estaciones terrenas bajo demanda	161
	5.5 Procesamiento de datos	163
<b>VI</b>	<b>ESTADÍSTICAS DE LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN MÉXICO</b>	<b>167</b>
	6.1 Estaciones de recepción y procesamiento en México	170
	6.2 Histórico de adquisición y distribución de imágenes satelitales	176
	6.3 Inventario nacional de imágenes satelitales	179
<b>VII</b>	<b>ESTADÍSTICAS DE COMUNICACIONES</b>	<b>181</b>
<b>VIII</b>	<b>SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN</b>	<b>191</b>
	8.1 Introducción	192
	8.2 Tiempo y sincronía de la infraestructura crítica	193
	8.3 Descripción de los principales sistemas de navegación globales	195
<b>IX</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>215</b>
	Anexo	223
	Referencias	233
	Abreviaturas	251







Satélites en línea de ensamble de la constelación OneWeb.  
Fuente: Airbus

## **ESTUDIO PARA ANALIZAR EL DESARROLLO DE LOS SATÉLITES MEXICANOS Y LAS CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA**

El presente documento busca guiar al lector en el entendimiento del estado actual de los satélites geoestacionarios y de las constelaciones de órbita baja desde el punto de vista de los antecedentes, proyección del uso en los próximos años con perspectiva de crecimiento del mercado y los posibles nichos de oportunidad para México en el sector de observación de la Tierra y su industria de comunicaciones satelitales.





Aztechsat  
Fuente: NASA

# JUSTIFICACIÓN

# I.

# JUSTIFICACIÓN

El presente documento constituye un estudio que busca atender aspectos prioritarios para el sector espacial nacional.<sup>1</sup> Entre ellos, destaca el fortalecimiento y desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones y radiodifusión de redes críticas y de alto desempeño para el desarrollo de México; aportar elementos para el fortalecimiento de la política satelital, la optimización de recursos orbitales y espectro radioeléctrico.<sup>2</sup>

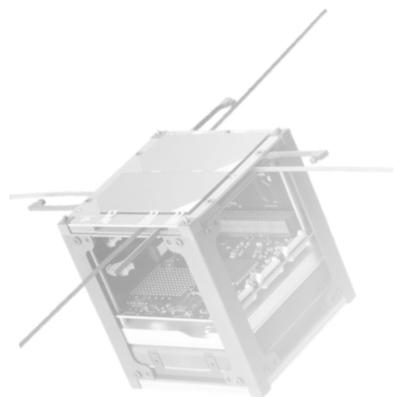
De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (PND), el Gobierno de México estableció tres ejes de trabajo con los cuales se trazaron los objetivos de las políticas públicas y se establecieron las acciones específicas para alcanzarlos: política y gobierno, política social y economía.<sup>[1]</sup>

Por su parte la Agencia Espacial Mexicana (AEM), como organismo descentralizado de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), tiene como **Misión**:

“Utilizar la ciencia y la tecnología espacial para atender las necesidades de la población mexicana y generar empleos de alto valor agregado, impulsando la innovación y el desarrollo del sector espacial, contribuyendo a la competitividad y al posicionamiento de México en la comunidad internacional, en el uso pacífico, eficaz y responsable del espacio.”<sup>[2]</sup>

Por **Visión**: “Contar con una infraestructura espacial soberana y sustentable de observación de la Tierra, navegación y comunicaciones satelitales de banda ancha, que contribuya a mejorar la calidad de vida de la población y al crecimiento económico de México”.<sup>[2]</sup>

La conjunción y relación entre el PND y la AEM se da a través de un flujo de información planificada y estratégica que se detalla en el Programa Nacional de Actividades Espaciales (PNAE) perteneciente a la propia AEM, que establece y es acorde con los lineamientos de política, objetivos, estrategias y líneas de acción que contribuirán a que México llegue a su máximo potencial. Actualmente este documento ya es oficial y en los próximos años se tendrá una nueva versión. El presente documento se elabora con la versión vigente,



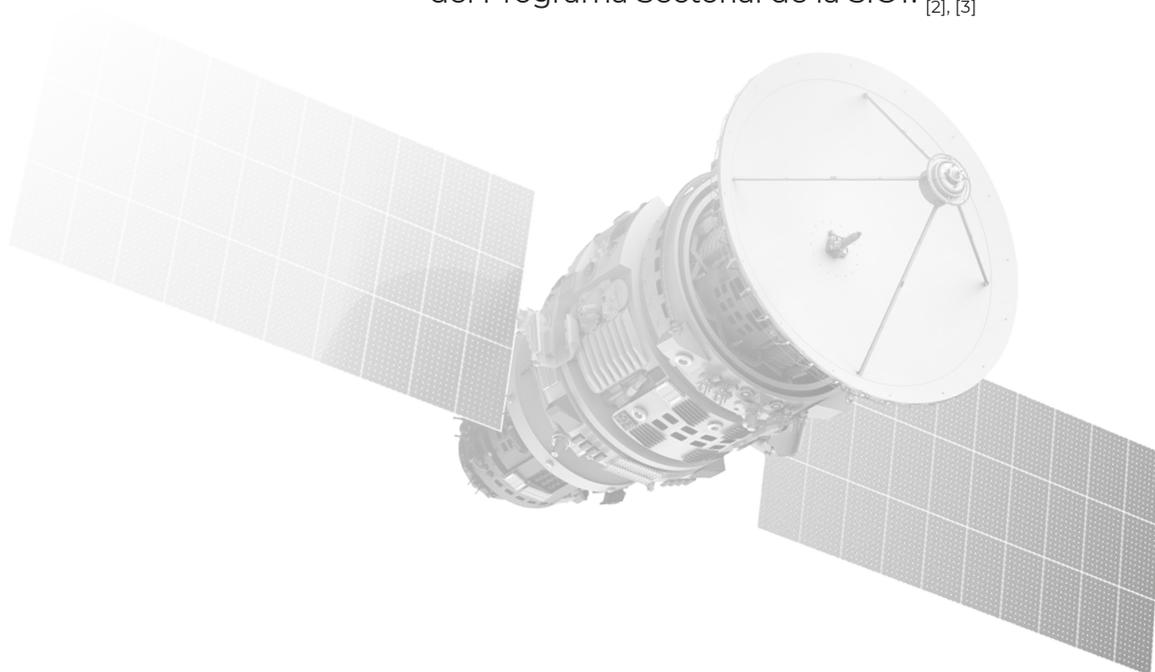
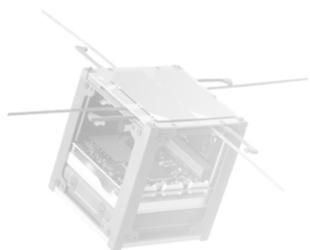
y corresponde en alineación con el Programa Sectorial de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. [3]

Así pues, la AEM dentro del PNAE, plasma en el objetivo 1 Impulsar el desarrollo de una infraestructura espacial que atienda las necesidades sociales de seguridad, protección de la población, atención a desastres, banda ancha y cuidado del medio ambiente. Las actividades en este objetivo se orientan al desarrollo y puesta en operación de vehículos espaciales y al desarrollo del segmento terrestre para la generación de los servicios, aplicaciones y productos necesarios para atender las demandas nacionales en la materia. Tratándose de proyectos que requieren una cantidad importante de recursos en las líneas de acción correspondientes, se iniciarán algunas de ellas con estudios de viabilidad técnico - económicos y con pruebas de concepto. [2]

Es así como la AEM viene realizando un trabajo de recopilación de información para integrar un estudio para analizar las constelaciones de órbita baja. Con esta idea en mente, se plantea conocer el estado actual del desarrollo de estas constelaciones a nivel global tanto para el rubro de comunicaciones, como para el de observación terrestre.

Este trabajo a su vez busca conocer las oportunidades donde México podría desarrollarse en dicho segmento y detonar así las capacidades para la soberanía de acceso al espacio desde el territorio nacional.

En la tabla 1 se muestra de manera esquemática la alineación del objetivo específico, estrategias y líneas de acción de la AEM en cuanto a la planeación del desarrollo de infraestructura espacial en términos de constelaciones satelitales, así como Centros de Innovación y Desarrollo Espacial con los objetivos, estrategias y Líneas de acción del Programa Sectorial de la SICT. [2], [3]



**Tabla 1.**

Alineación de Objetivos, Estrategias y Líneas de acción del Programa Sectorial de la SICT y Objetivos, Estrategias y Líneas de acción en materia de desarrollo de infraestructura espacial en términos de desarrollo de satélites y constelaciones de órbita baja, así como Centros de Innovación y Desarrollo Espacial en el PNAE.

<b>PROGRAMA SECTORIAL DE LA SICT</b>	
<b>OBJETIVO DEL PROGRAMA SECTORIAL DE LA SICT</b>	Objetivo 3 Promover la cobertura, el acceso y el uso de servicios postales, de telecomunicaciones y radiodifusión, en condiciones que resulten alcanzables para la población, con énfasis en grupos prioritarios y en situación de vulnerabilidad, para fortalecer la inclusión digital y el desarrollo tecnológico.
<b>ESTRATEGIA SECTORIAL DEL PROGRAMA SECTORIAL DE LA SICT</b>	<p>Estrategia 3.1 Impulsar el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones y radiodifusión de redes críticas y de alto desempeño para el desarrollo de México.</p> <p>Estrategia 3.2 Promover la cobertura social, el acceso a Internet y a la banda ancha, a la radiodifusión y el correo, como servicios fundamentales para el bienestar y la inclusión social, así como fomentar el aprovechamiento pacífico del espacio.</p> <p>Estrategia 3.4 Promover el desarrollo tecnológico en diversos campos de las telecomunicaciones, la radiodifusión y el uso pacífico del espacio para la transformación y la inclusión digital.</p>
<b>ACCIÓN PUNTUAL DEL PROGRAMA SECTORIAL DE LA SICT</b>	<p>Acción 3.1.3 Fortalecer la política satelital del país, la planificación de recursos orbitales y el espectro radioeléctrico, y promover el uso del Sistema Satelital Mexicano, para contar con comunicaciones satelitales seguras y de alta disponibilidad que aporten a la cobertura social y a la seguridad nacional.</p> <p>Acción 3.2.2 Promover condiciones de acceso a dispositivos y servicios de conectividad a internet, así como favorecer mecanismos de organización social y comunitaria para la ampliación de los servicios de radiodifusión, para fortalecer la inclusión y el desarrollo social.</p> <p>Acción 3.4.2 Generar mapas de ruta y promover recomendaciones y proyectos estratégicos que impulsen la modernización y adopción de modelos para el desarrollo tecnológico del país.</p>

## PROGRAMA NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES

### OBJETIVO PROGRAMA NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES

Objetivo 1. Impulsar el desarrollo de una infraestructura espacial que atienda las necesidades sociales de seguridad, protección de la población, atención a desastres, banda ancha y cuidado del medio ambiente.

### ESTRATEGIA DEL PROGRAMA NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES

Estrategia 1.1 Impulsar el desarrollo de infraestructura espacial de satélites de órbita baja para la observación del territorio nacional.

Estrategia 1.3 Fomentar el desarrollo de infraestructura espacial de telecomunicaciones en nuevas bandas de frecuencia, para apoyar y complementar la conectividad y equidad digital para proporcionar mejores servicios de información a la población, incluyendo la banda ancha.

### LÍNEAS DE ACCIÓN DEL PROGRAMA NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES

Línea de acción 1.1.2 Propiciar el desarrollo de servicios de almacenamiento, procesamiento, distribución de imágenes y otros datos captados por sensores e instrumentos satelitales y terrestres, y estimular su utilización en los diferentes sectores.

Línea de acción 1.3.1 Promover la investigación, el desarrollo tecnológico y la integración de sistemas y aplicaciones en comunicaciones satelitales y nuevas tecnologías espaciales para habilitar conectividad de banda ancha.

<sup>1</sup> Ley que crea la Agencia Espacial Mexicana. Artículo 4. Para el cumplimiento de su objeto, la Agencia tendrá las siguientes funciones: I. Impulsar estudios y desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas en la materia y en las áreas prioritarias de atención definidas en el Programa Nacional de Actividades Espaciales.

<sup>2</sup> Ejes y estrategias del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020:

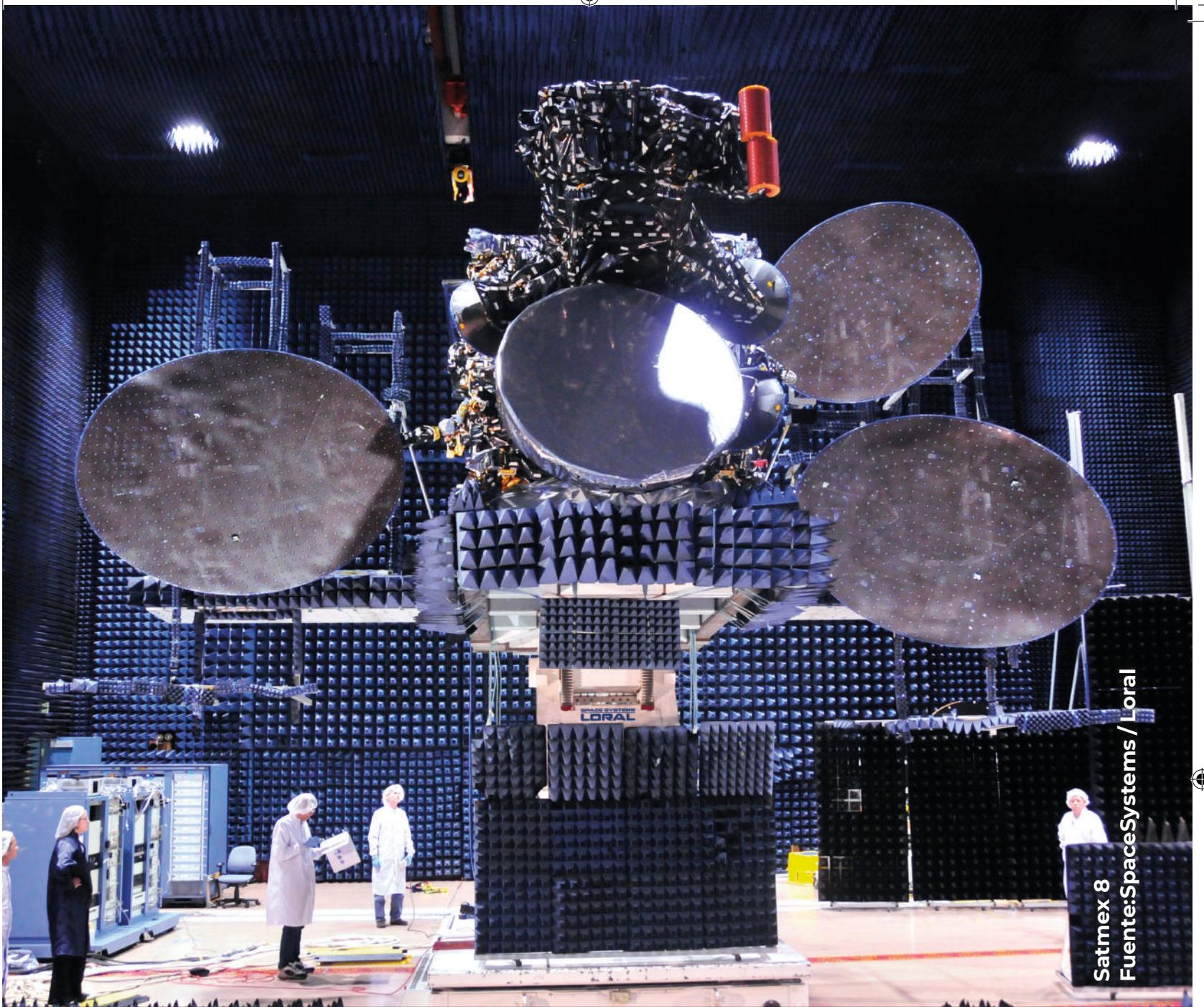
- 1.- Impulsar el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones y radiodifusión de redes críticas y de alto desempeño para el desarrollo de México.
  - 1.3.- Fortalecer la Política Satelital del país, la planificación de recursos orbitales y el espectro radioeléctrico, y promover el uso del Sistema Satelital Mexicano, para contar con comunicaciones satelitales seguras y de alta disponibilidad que aporten a la cobertura social y a la seguridad nacional.
- 2.- Promover la cobertura social, el acceso a internet y a la banda ancha, a la radiodifusión y el correo, como servicios fundamentales para el bienestar y la inclusión social, así como fomentar el aprovechamiento pacífico del espacio.
  - 2.1.- Diseñar estrategias de aumento de la cobertura, a través de mecanismos de coordinación con actores públicos y privados, que permitan lograr condiciones de conectividad a Internet a través de servicios de banda ancha en el territorio nacional
- 3.- Desarrollar habilidades y modelos para la transformación digital de los individuos y las instituciones, incluyendo a los grupos en situación de vulnerabilidad.
  - 3.2.- Identificar modelos, herramientas y mejores prácticas para la transformación digital y el desarrollo sostenible.
  - 3.3.- Fomentar el uso de diversos canales de promoción, disseminación y adopción de herramientas para la formación de capacidades y habilidades digitales.
- 5.- Coordinar el proceso de elaboración y evaluación de Políticas Públicas para la transformación e inclusión digital de México, de manera participativa e impulsando la coordinación Interinstitucional.



- 5.1.- Identificar y coordinar la participación de actores clave para el desarrollo de un marco de política pública que permita satisfacer las necesidades de la población en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, así como promover el desarrollo del sector.

- 5.2.- Coordinar la elaboración y dar seguimiento a las políticas, programas y proyectos en materia postal, de telecomunicaciones y radiodifusión, así como proponer mejoras a los procesos de su operación.

Los sistemas LEO de banda estrecha operan en frecuencias por debajo de un Gigahertz (GHz) y proporcionan principalmente servicios de comunicación denominados máquina a máquina (M2M) y sistemas de identificación automática (AIS). Estos sistemas también pueden proporcionar comunicaciones de datos de banda estrecha, como el correo electrónico, paginación bidireccional y mensajes simples para lectura automática de medidores, seguimiento de flotas de vehículos y otras aplicaciones remotas de monitoreo de datos.



Satmex 8  
Fuente: SpaceSystems / Loral

# OBJETIVO GENERAL

## II.

# OBJETIVO GENERAL

El presente documento tiene el propósito de definir el estado actual de los satélites mexicanos y las constelaciones de órbitas bajas que identifique las perspectivas de las posiciones orbitales mexicanas de la nueva generación de satélites considerando el espectro radioeléctrico, para abordar así la perspectiva de crecimiento del mercado y los posibles nichos de oportunidad para México.

### 2.1 Objetivos específicos

- Identificar las necesidades y requerimientos actuales de los operadores/clientes de los servicios de satélites geoestacionarios y de las constelaciones de órbita baja para comunicaciones y observación de la Tierra.
- Explorar el estado del arte para identificar las nuevas tecnologías y tendencias en materia satelital y analizar las características entre ellas.

### 2.2 Alcance

- Este documento pretende ser una referencia de las tendencias en el sector de las comunicaciones nacionales por satélite y de la observación de la Tierra.
- Contiene un análisis del mercado de operadores satelitales que ofrecen los servicios de telecomunicaciones y observación de la Tierra.
- Genera conclusiones que permiten identificar nichos de oportunidad para el mercado mexicano ya sea para satélites geoestacionarios o constelaciones de órbita baja.



Morelos 3  
Fuente: ULA

# SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

# III.

# SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

## 3.1 Antecedentes

A casi 65 años del lanzamiento y puesta en órbita del primer satélite artificial del planeta, este tipo de tecnología, si bien en su inicio fueron dispositivos militares y de investigación, ha revolucionado las comunicaciones para todos los sectores de la sociedad, alrededor del mundo.

El sector aeroespacial ha tenido un crecimiento constante en los últimos años. Esto ha sido producto del desarrollo tecnológico, así como de la expansión de las aplicaciones comerciales que la industria ofrece para las actividades del día a día. Tanto la oferta de servicios satelitales como su demanda han encontrado en servicios innovadores nuevas rutas para su expansión que auguran la consolidación de un sector de amplio interés social y económico para todos los países. [4]

De acuerdo con la Federal Aviation Administration de Estados Unidos se estima que en 2020 la economía espacial global generó ingresos por alrededor de 400 mil millones de dólares, de los cuales cerca de 75% corresponden a servicios satelitales. Los principales segmentos que integran la industria satelital de servicios son los de televisión, telefonía e internet; servicios de consumo que se integran a las actividades cotidianas de la población. De igual manera, los satélites se utilizan para servicios especiales, como: geolocalización, observación terrestre, seguridad nacional e investigación espacial.

Los servicios de observación terrestre registran la tendencia más dinámica en ingresos en los últimos años. Ello es impulsado por nuevas aplicaciones comerciales y de inteligencia, así como por el creciente número de alianzas comerciales que motivan a una oferta satelital más especializada. En este sentido, la demanda de servicios satelitales en el mundo sigue una pronunciada tendencia ascendente, especialmente en economías emergentes. [4]

Los satélites ofrecen la posibilidad de hacer llegar servicios a regiones de difícil acceso que no han demostrado ser rentables a través de tecnologías terrestres.

Esto refrenda el carácter marcadamente social de este sector que sintetiza a la vez la vanguardia tecnológica.

Aunado a los beneficios que se derivan de sus capacidades, eficiencia económica de su despliegue, cobertura, diseño y desarrollo, los satélites constituyen un factor habilitador para las diversas actividades de nuestro país, tales como la academia, la cultura, la industria, la agricultura y la salud. Tomando como ejemplo el caso del internet de las cosas, donde las tecnologías satelitales juegan un papel esencial al ser un potencial facilitador de conectividad para mediciones remotas, oleoductos, casetas de peaje, líneas de alta tensión, monitoreo y control de tráfico en carreteras, entre otras. También son centrales en las operaciones que sustentan la soberanía nacional, protección del país, atención ante desastres naturales y de transportación terrestre, marítima y aérea. Así, el uso de satélites ha contribuido a un México seguro y protegido, fortaleciendo la protección civil y las operaciones de seguridad nacional, al mismo tiempo que asisten a las tareas de inteligencia, a la aplicación de la ley y a la toma de decisiones tácticas. La previsión meteorológica, la monitorización del medio ambiente y recursos naturales, así como la alerta a desastres naturales se basan de manera importante en tecnología satelital. [4]

La información precisa que los satélites proporcionan es vital para operaciones de rescate en caso de desastres. Además, algunos de los datos proporcionados por satélites son utilizados para la medición de variables climáticas, cuantificación de recursos renovables y no renovables, así como para la preservación de biodiversidad, medio ambiente y patrimonio cultural.

Adicionalmente, los satélites son fuente de innovación, al crear oportunidades de investigación y desarrollo tecnológico como consecuencia de los altos grados de complejidad, precisión e innovación necesarios para su conceptualización, construcción y funcionamiento que, una vez generados, son utilizados para el avance técnico, no solo de la industria espacial y de telecomunicaciones, sino de la sociedad en su conjunto. [4]

Hay una gran variedad de satélites, ya sea por el tipo de órbita, por su tamaño, por su peso, por la distancia respecto a la Tierra, etc. Sin embargo, hay un cierto tipo que, de acuerdo con sus características especiales, es muy utilizado para los servicios de comunicaciones, los llamados satélites geoestacionarios. [5]

Gracias a los satélites geoestacionarios se puede tener una amplia cobertura de zonas terrestres que son de difícil acceso, por lo que no se podría llegar a ellas utilizando otros medios, por ejemplo, fibra óptica.



Se utilizan para la radiodifusión, la telefonía móvil, la transmisión de datos a altas velocidades, entre muchas otras aplicaciones que, en la actualidad, son indispensables para la sociedad. Las posiciones orbitales se determinan a partir de la posición de 0° sobre el meridiano de Greenwich, de allí se comienzan a determinar las demás hacia el Este o hacia el Oeste, por ejemplo, el satélite EUTELSAT 117 West A (antes Satmex 8) está colocado en la posición 116.8° O. [5]

México ha sido pionero en el uso de tecnologías satelitales desde la década de los sesenta, ingresando formalmente al sector satelital en 1966 con la firma de un acuerdo para formar parte de la Organización Internacional de Comunicaciones por Satélite y la adquisición de nuestra primera estación terrena como medio para establecer la comunicación satelital. Durante los siguientes años, las comunicaciones internacionales vía satélite se incrementaron gradualmente. [6]

Desde finales de la década de los años sesenta el Gobierno Federal comenzó a incursionar en el campo de la comunicación vía satélite. Inicialmente como usuario de sistemas satelitales extranjeros, con la puesta en operación de la estación terrena de gran diámetro en Tulancingo, Hidalgo, la cual fue empleada para la transmisión en vivo de los Juegos Olímpicos de 1968 a todo el mundo. Sin embargo, fue hasta mediados de la década de los años ochenta que nuestro país se incorpora al selecto grupo de países que contaba con una flota satelital propia. [7]

En junio de 1985 es lanzado el primer satélite mexicano que fue denominado Morelos I. Originalmente este satélite fue operado en la posición orbital geoestacionaria 113.5° Oeste, aunque posteriormente su reemplazo fuera colocado medio grado hacia el Este, por lo que es la posición 113° Oeste la que actualmente es ocupada por México. El satélite Morelos II, segundo de esta primera generación, fue colocado en su posición orbital nominal en 116.8° Oeste, iniciando sus operaciones el 1° de septiembre de 1989.

En el año 1989 fue creado Telecomunicaciones de México (Telecomm), organismo descentralizado encargado de proporcionar los servicios de conducción de señales vía satélites nacionales. Ya bajo la operación a cargo de Telecomm, la flota satelital mexicana entra en su segunda generación al ser lanzados los satélites Solidaridad 1 y Solidaridad 2, el 19 de noviembre de 1993 y el 7 de octubre de 1994, respectivamente.

El satélite Solidaridad 1 ocupó la posición 109.2° Oeste, en tanto que el Solidaridad 2 ocupó la posición 113° Oeste. [6]



**Tabla 2.**  
 Características técnicas de Solidaridad 1 y 2.  
 Regulación Satelital en México, estudio y acciones. IFT, 2014.

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SOLIDARIDAD 1 Y 2</b>	
<b>FABRICANTE</b>	Hughes Aircraft
<b>MODELO</b>	HS-601
<b>ESTABILIDAD</b>	Triaxial
<b>PESO TOTAL</b>	2,773.23 kg
<b>POTENCIA</b>	3,370 watts
<b>BANDAS DE FRECUENCIA</b>	C, Ku y L
<b>VIDA ÚTIL</b>	14 años
<b>DIMENSIONES</b>	6.67 m Entre antenas 21.0 m (Paneles desplegados)
<b>VEHÍCULO LANZADOR</b>	Ariane 44LP

Hasta antes de marzo de 1995, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establecía en su artículo 28 que la comunicación vía satélite era una actividad estratégica y su explotación se encontraba reservada al Estado.

En marzo de 1995 fue reformado el artículo 28 de nuestra carta magna, de tal forma que la comunicación vía satélite se define como un área prioritaria para el desarrollo nacional, estableciendo que se podrán otorgar concesiones o permisos a particulares para su explotación. Tras un proceso de privatización iniciado en 1995, se constituye en 1997 Satélites Mexicanos, S.A. de C.V. (Satmex), como una empresa mexicana prestadora del servicio fijo por satélite para la conducción de señales para redes de telecomunicaciones públicas y privadas.<sup>[7]</sup>

El 5 de diciembre de 1998 fue puesto en órbita el primer satélite de la tercera generación de la flota mexicana, ahora operada por Satmex. El satélite denominado Satmex 5 reemplazó al satélite Morelos II en la





posición 116.8° Oeste. En agosto del año 2000 falló la segunda computadora de a bordo del Solidaridad 1, ocasionando la pérdida total del satélite. Derivado de la inminente necesidad de reemplazar dicho satélite en la posición orbital 109.2° Oeste se iniciaron las correspondientes negociaciones con el gobierno de Canadá, a efecto de prever posibles interferencias a sus satélites ubicados en las posiciones 107.3° Oeste y 111.1° Oeste, ambas adyacentes a la posición 109.2° Oeste.



No obstante los grandes esfuerzos realizados por ambas administraciones, la coordinación de la operación del satélite de reemplazo, el cual se denominaría Satmex 6, resultó técnicamente imposible, por lo que se optó por tomar una medida contundente basada en el intercambio de posiciones orbitales entre ambos países. [7]



El intercambio de las posiciones 109.2° Oeste y 114.9° Oeste, originalmente notificadas por México y Canadá, respectivamente, permitió agrupar las tres posiciones orbitales mexicanas, a efecto de minimizar la potencial interferencia entre satélites de ambos países. Tal intercambio fue formalizado a través de un Memorándum de Entendimiento firmado por los gobiernos de ambos países el 25 de agosto de 2003.



El intercambio de posiciones con Canadá hizo posible la reubicación del satélite Solidaridad 2 en la posición 114.9° Oeste, lo que permitió el lanzamiento del satélite Satmex 6 en la posición 113° en mayo de 2006.

Por otro lado, debido a que México decidió utilizar una de las cuatro posiciones orbitales geoestacionarias, adjudicadas mediante el Plan de Servicio de Radiodifusión por satélite, el Gobierno Federal solicitó la modificación de la adjudicación en la posición 78° Oeste, a efecto de desplazarla a la posición 77° Oeste y ampliar su cobertura a todo el territorio nacional y al territorio continental de los Estados Unidos de América.

Una vez finalizada la coordinación para la modificación al Plan de Servicio de Radiodifusión por Satélite, la Comisión Federal de Telecomunicaciones inició el proceso de licitación de la posición orbital 77° Oeste. Resultando ganadora del concurso respectivo, con fecha 2 de febrero de 2005, la empresa QuetzSat, S. de R.L. de C.V. la cual obtuvo la concesión para ocupar y explotar la posición orbital 77° Oeste con sus respectivas bandas de frecuencia asociadas. [7]

## Satmex

Satmex tiene tres concesiones para ocupar las posiciones orbitales geoestacionarias (POGs) coordinadas en 113.0° Oeste, 114.9° Oeste (antes 109.2° Oeste) y 116.8° Oeste, y explotar sus respectivas bandas de frecuencia asociadas y los derechos de emisión y recepción de señales otorgadas por el Gobierno Federal a través de la Secretaría el 23 de octubre de 1997, con una vigencia de 20 años, y prorrogadas el 26 de mayo de 2011 por otros 20 años contados a partir del 24 de octubre de 2017.<sup>[7]</sup>

**Tabla 3.**

Flota satelital SATMEX <sup>[7]</sup>

Regulación Satelital en México, estudio y acciones. IFT, 2014.

POG NOMINAL	SATÉLITE	SERVICIOS AUTORIZADOS	BANDAS DE FRECUENCIA (MHZ)		COBERTURA
			ESPACIO - TIERRA	TIERRA - ESPACIO	
113.0° O	SATMEX 6	Fijo por satélite	3700-4200 (C)	5925-6425 (C)	Continental
			11700-12200 (Ku)	14000-14500 (Ku)	
114.9 ° O	SOLIDARIDAD 2	Móvil por satélite	1525-1559 (L)	1626.5-1660.S (L)	Regional en América
	SATMEX 7	Fijo por satélite	3700-4200 (C) 11700-12200 (Ku)	5925-6425 (C) 14000-14500 (Ku)	Continental
116.8° O	SATMEX 5	Fijo por satélite	3700-4200 (C) 11700-12200 (Ku)	5925-6425 (C) 14000-14500 (Ku)	Continental
	SATMEX 8	Fijo por satélite	3700-4200 (C) 11700-12200 (Ku)	5925-6425 (C) 14000-14500 (Ku)	Continental

## Quetszat

Dadas las limitaciones técnicas de la adjudicación MEX01NTE en la POG 78° Oeste, tal y como aparecen en el Plan del Servicio de Radiodifusión por Satélite (BSS, por sus siglas en inglés), sus características fueron modificadas por el Gobierno Federal ante la UIT a fin de ampliar su cobertura a todo el territorio nacional y parte de Estados Unidos de América. En consecuencia, fue necesario cambiar su ubicación a la longitud 77° Oeste. El nuevo expediente fue denominado MEX-TDHI.

Posteriormente, QUETZSAT, como ganador de la correspondiente licitación, continuó con modificaciones a las características técnicas a fin de extender su cobertura a Centroamérica. Después de obtenidos los acuerdos de coordinación con las administraciones afectadas por dichas modificaciones, la BR concluyó que el procedimiento de modificaciones al Plan para la red satelital denominada QUETZSAT-77 en 77°Oeste se completó con éxito conforme a las disposiciones del RR.

El RR indica que pueden ser coubicados más de un satélite en una misma POG con una separación orbital de 0.4° entre ellos, es decir, satélites colocados dentro de un arco orbital de +/- 0.2° respecto de la posición nominal, en este caso de la POG 77° Oeste. En este sentido, QUETZSAT cuenta con los siguientes satélites coubicados. [7]

**Tabla 4.**

Flota satelital Quetsat [7]  
Regulación Satelital en México, estudio y acciones. IFT, 2014.

POG NOMINAL	SATÉLITE	SERVICIOS AUTORIZADOS	BANDAS DE FRECUENCIA (MHz)		COBERTURA
			ESPACIO - TIERRA	TIERRA - ESPACIO	
76.80°	ECHOSTAR 6	Radiodifusión y servicio fijo	12200-12700 (BSS planificada)	17300-17800 (BSS planificada)	México EUA Centroamérica
77.05°	QUETZSAT 1				
77.15°	ECHOSTAR 1				
76.90°	ECHOSTAR 8				



## 3.2 Situación actual

### 3.2.1 Contexto internacional y la UIT

El empleo de sistemas satelitales para la comunicación se ha incrementado considerablemente. Es por ello que se considera que la utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas debe realizarse en forma ordenada, y para ello la comunidad internacional encomendó a un organismo especializado de las Naciones Unidas: la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la reglamentación, normalización y desarrollo de las telecomunicaciones en el mundo. [8]

En el artículo 7 de la Constitución de la UIT se estableció que este organismo comprende tres sectores diferentes, los cuales logran sus labores a través de conferencias y reuniones. El primero de ellos es el Sector de las Radiocomunicaciones (UIT-R), el segundo es el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T), que se encarga la estandarización de los sistemas técnicos de explotación y tarifas relacionadas con las telecomunicaciones, para el beneficio de los usuarios a escala mundial. El último sector es el del Desarrollo de las Telecomunicaciones (UIT-D), que tiene como función la ejecución de los proyectos de desarrollo de las Naciones Unidas y de otras iniciativas de financiación, con el objetivo de facilitar y potenciar el desarrollo de las telecomunicaciones. [8]

La UIT es la responsable de administrar la atribución de las frecuencias radioeléctricas, que de acuerdo al Reglamento de Radiocomunicaciones comprende “la Inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas”, y en general la regulación de este espectro. Así mismo, se encarga del uso de la órbita geoestacionaria, asignándoles a los Estados las posiciones orbitales que estén disponibles con el fin de eliminar toda posibilidad de interferencia que resulten perjudiciales para la prestación óptima de los servicios de telecomunicaciones. Precisamente, el artículo 1 de la Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones contiene las funciones que le corresponden al Sector de Radiocomunicaciones. A tal efecto, y en particular, la Unión:

*"Efectuará la atribución de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, y la adjudicación de frecuencias radioeléctricas y llevará el registro de las asignaciones de frecuencias y las posiciones orbitales asociadas en la órbita de los satélites geoestacionarios, a fin de evitar toda interferencia perjudicial entre las estaciones de radiocomunicación de los distintos países."*



Como podemos ver, la UIT coordinará los esfuerzos para eliminar las interferencias perjudiciales entre las estaciones de radiocomunicación de los diferentes países y mejorar la utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas y de la órbita de los satélites geoestacionarios para los servicios de radiocomunicación. Al ser un recurso natural limitado, la UIT-R debe cumplir sus objetivos garantizando la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios. Es decir, que se reconocen los dos principios fundamentales que se han venido estudiando: la utilización eficaz y el acceso equitativo. [8]

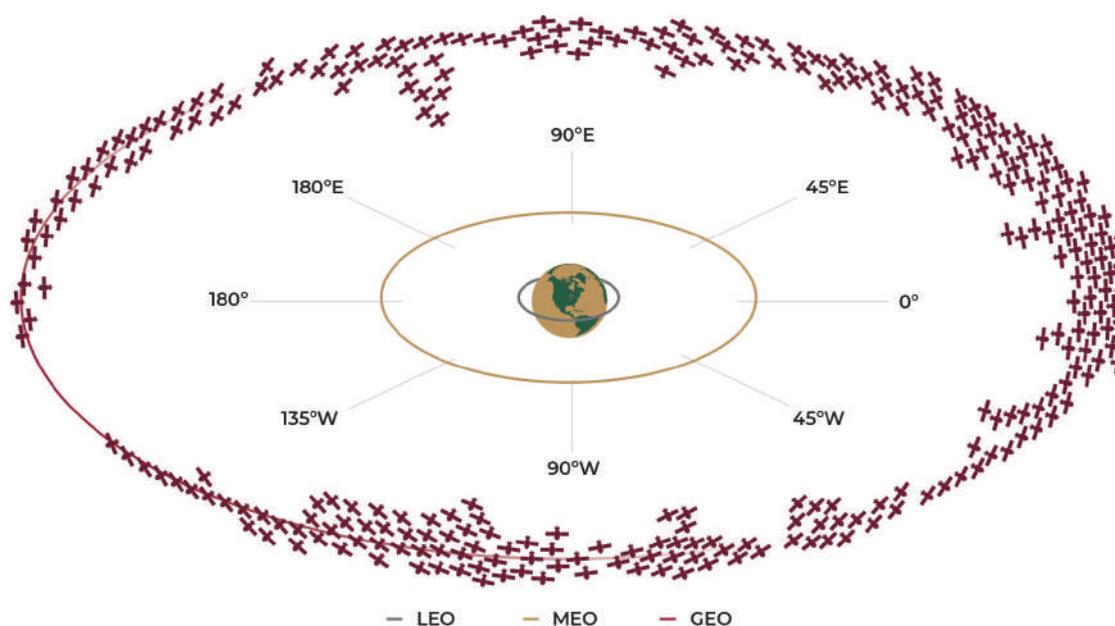


Figura 1. Ocupación de la órbita geoestacionaria.

De igual forma, la UIT dividió el mundo en tres regiones en su Reglamento de Radiocomunicaciones con el propósito de administrar el espectro electromagnético global. Cada región posee su propio conjunto de asignación de frecuencias, lo cual es la principal razón para definir las regiones:

## Región 1

Comprende Europa, África y Medio Oriente incluyendo a la península arábiga, Iraq, la antigua Unión Soviética y Mongolia. Al oeste está delimitada por la Línea B y al este por la Línea A, definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ver fig. 2).

## Región 2

Comprende las Américas, incluyendo Groenlandia y algunas de las Islas del Pacífico. La frontera oriental está delimitada por la ya mencionada Línea B y la occidental por la Línea C (ver fig. 2).

## Región 3

Comprende la zona limitada al este por la Línea C y al oeste por la línea A, excepto Ucrania, Federación Rusa, Georgia, Turquía, Armenia, Azerbaiyán, Turkmenistán, Uzbekistán, Tayikistán, Kirguistán, Kazajistán, Mongolia, Rusia asiática y la parte de Irán situada fuera de estos límites (ver fig. 2). [8]

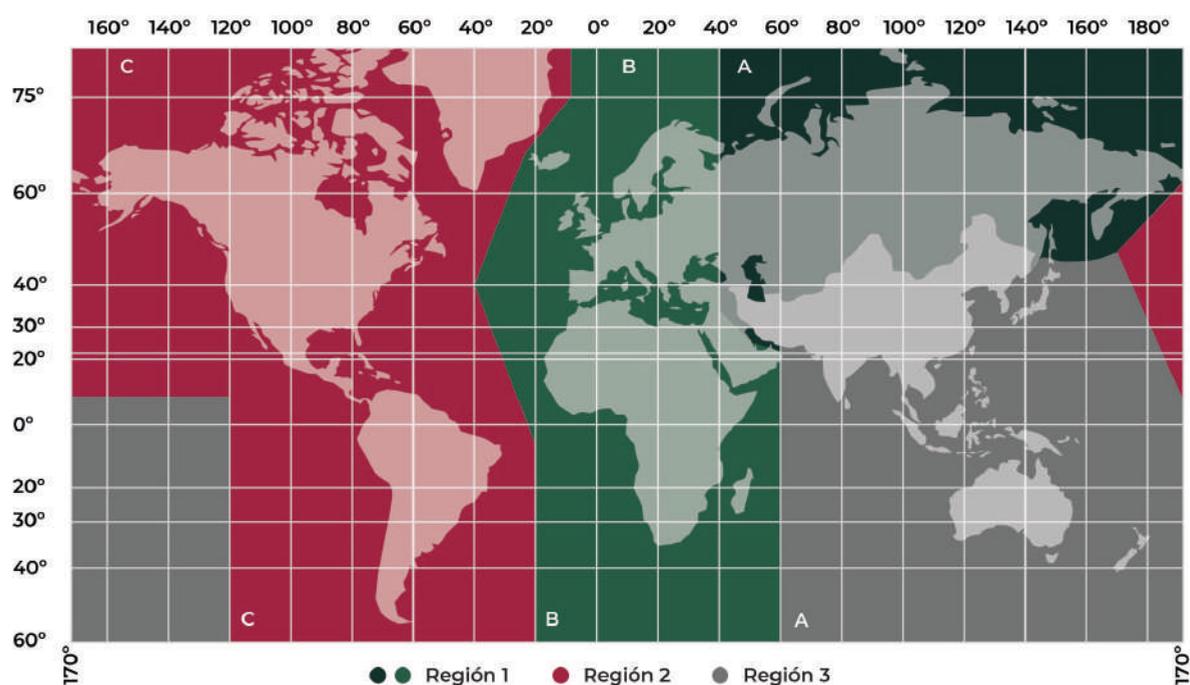


Figura 2. Regiones establecidas por la UIT. [8]

### 3.2.2 Contexto nacional y el IFT

El Instituto Federal de Telecomunicaciones tiene a su cargo la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, los recursos orbitales, los servicios satelitales, las redes de telecomunicaciones, incluyendo las redes públicas de telecomunicaciones, y la prestación de los servicios públicos de interés general de radiodifusión y de telecomunicaciones. [9]

En México existen diversos recursos orbitales nacionales y extranjeros autorizados para prestar servicios en territorio nacional:

## Planificados

Con el objeto de que los países tengan un acceso equitativo a la órbita geoestacionaria, la UIT planificó y distribuyó bandas de frecuencias asociadas a posiciones orbitales geoestacionarias (POGs) con coberturas nacionales. En tal contexto, a México le corresponden las posiciones orbitales geoestacionarias (POGs) de 69.2 grados Oeste ( $^{\circ}$ O),  $77^{\circ}$  O,  $127^{\circ}$  O y  $136^{\circ}$  O con bandas planificadas para el Servicio de Radiodifusión por Satélite, mientras que en bandas planificadas para el Servicio Fijo por Satélite (FSS, por sus siglas en inglés) le corresponde la POG  $113^{\circ}$  O. De las posiciones orbitales geoestacionarias antes mencionadas, la  $77^{\circ}$  O es ocupada por el concesionario QuetzSat, S. de R.L. de C.V, para el servicio de televisión directa al hogar (DTH, por sus siglas en inglés), y la  $113^{\circ}$  O por Telecomunicaciones de México (Telecomm) como una parte del sistema satelital mexicano MEXSAT, las demás por el momento se encuentran desocupadas ( $69.2^{\circ}$  O,  $116.8^{\circ}$  O,  $127^{\circ}$  O,  $136^{\circ}$  O). [9]

## No planificados

En adición a lo anterior, existe la posibilidad de que un país ocupe posiciones orbitales geoestacionarias con bandas de frecuencias y coberturas distintas a las planificadas por la UIT, siempre y cuando cumpla con el procedimiento de coordinación establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) a efecto de operar libre de interferencias perjudiciales con otras posiciones orbitales geoestacionarias. Bajo este esquema, México ocupa las posiciones orbitales geoestacionarias (POGs)  $113^{\circ}$  O,  $114.9^{\circ}$  O y  $116.8^{\circ}$  O en bandas de frecuencia atribuidas al FSS y con coberturas regionales en América.

Estas posiciones orbitales geoestacionarias se encuentran concesionadas para la prestación de servicios satelitales a Satélites Mexicanos, S.A. de C.V. (antes Satmex, hoy Eutelsat Américas). Del mismo modo, la POG  $113^{\circ}$  O en bandas de frecuencia atribuidas al Servicio Móvil por Satélite (MSS, por sus siglas en inglés) y la POG  $114.9^{\circ}$  O en bandas de frecuencia atribuidas al FSS (en diferentes rangos de las antes mencionadas), se encuentran concesionadas a Telecomm como otra parte del sistema satelital mexicano MEXSAT. [9]

## Aterrizaje de señales

Desde la órbita geoestacionaria u otras órbitas satelitales, un satélite puede cubrir grandes extensiones de la superficie terrestre, de forma tal que puede abarcar el territorio de varios países y áreas oceánicas. Es por esta razón que las áreas de cobertura de diversos satélites con vista sobre el continente americano cubren el terri-

torio de México. Debido a lo anterior, todo aquel operador satelital extranjero interesado en aterrizar sus señales satelitales en México debe hacerlo a través de una autorización para explotar los derechos de emisión y recepción de señales y bandas de frecuencias asociados a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicios en el territorio nacional de las referidas en la fracción IV del artículo 170 de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (la Ley). [9]

En el Registro Público de Concesiones (RPC) se encuentran las empresas autorizadas en México para aterrizar señales en territorio nacional provenientes de operadores satelitales extranjeros, que mediante la provisión de capacidad satelital prestan servicios como: transmisión de datos, radiocomunicación especializada de flotillas, radiolocalización de vehículos, servicios móviles e interconexión con redes públicas de telecomunicaciones, entre otros.

De manera general, los recursos orbitales con los que cuenta México se componen de diversas POGs, las cuales se concentran en la tabla 5. [9]

**Tabla 5.**

Recursos orbitales de México en órbita geoestacionaria [Información obtenida de “Los Recursos Orbitales de México” en la página web del Instituto Federal de Telecomunicaciones, IFT, <http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/recursos-orbitales/en-mexico>]

PLANIFICADAS						
POSICIÓN ORBITAL	TIPO DE SERVICIO	OPERADOR	FECHA DE INICIO DE OPERACIONES	BANDA DE FRECUENCIA	TIEMPO DE VIDA TEÓRICO	TIEMPO DE VIDA PROVEEDOR
69.2 ° Oeste	SRS	Desocupada				
77.0 ° Oeste	SRS/DTH	QuetzSat, S de R. L. de C. V.	29/09/2011	Banda KU	Finales 2026	Finales 2026
113 ° Oeste	SMS	TELECOMM-MEXSAT (Morelos III-113.1° O)	02/10/2015	Banda L/KU	Finales 2030	Finales 2034
127 ° Oeste	SRS	Desocupada				
136 ° Oeste	SRS	Desocupada				

## NO PLANIFICADAS

POSICIÓN ORBITAL	TIPO DE SERVICIO	OPERADOR	FECHA DE INICIO DE OPERACIONES	BANDA DE FRECUENCIA	TIEMPO DE VIDA TEÓRICO	TIEMPO DE VIDA PROVEEDOR
113 ° Oeste	SFS/DTH/SMS	EUTELSAT (Eutelsat 113 WA)	27/05/2013	Bandas C/Ku	Mediados 2028	Finales 2024
114.9 ° Oeste	SFS/DTH/BB	EUTELSAT (Eutelsat 113 WA)	01/03/2015	Bandas C/Ku	Inicios 2030	Inicios 2030
114.9 ° Oeste	SFS/BB	MEXSAT (Bicentenario)	19/12/2012	Bandas C/Ku Extendida	Finales 2027	Finales 2034
116.8 ° Oeste	SFS/BB	EUTELSAT (Eutelsat 117 WA)	26/03/2013	Bandas C/Ku	Inicios 2028	Inicios 2028
116.8 ° Oeste	DTH	EUTELSAT (Eutelsat 117 WA)	15/06/2016	Bandas C/Ku Extendida	Mediados 2031	Mediados 2031

En este sentido, la Unidad de Espectro Radioeléctrico del Instituto Federal de Telecomunicaciones promueve, conduce, coordina y orienta la planeación, ingeniería, economía y regulación del Espectro Radioeléctrico y la Comunicación Vía Satélite.

Para poder ocupar y aprovechar un recurso orbital es requisito indispensable obtener una concesión por parte del IFT.<sup>[9]</sup>

Antes de considerar someter una solicitud de concesión de recurso orbital es recomendable establecer contactos preliminares con la Unidad de Concesiones y Servicios y la Unidad de Espectro Radioeléctrico del IFT para resolver dudas que se tengan sobre el procedimiento de solicitud de concesión en el ámbito de su competencia.

De igual manera, si el proyecto incluye el uso de frecuencias atribuidas al servicio de aficionados por satélite, es importante consultar previamente con la IARU (Unión Internacional de Radio Amateur, por sus siglas en inglés) el plan de frecuencias del proyecto, así como con la Federación Mexicana de Radioexperimentadores (FMRE), organismo encargado de representar los intereses de los radioaficionados mexicanos ante las autoridades nacionales e internacionales.

Debido a la cantidad de satélites pequeños no geoestacionarios que orbitan la Tierra, existen bandas de frecuencia que empiezan a mostrar signos de saturación, principalmente algunas bandas atribuidas al servicio de aficionados por satélite. Si el proyecto contempla bandas que muestran condiciones de saturación, se puede correr el riesgo

de que la IARU o la UIT no recomienden el uso de dichas frecuencias, obligando a que el proyecto tenga que reemplazar los equipos de radio, lo cual puede representar un gasto y tiempo adicional en el proceso de gestionar la concesión de recurso orbital. [9]

El objeto de este documento no es profundizar de forma detallada el proceso regulatorio, sin embargo, se mencionan de manera enunciativa los siguientes organismos con los que se interactúa.

### **Actores con los que se interactúa a nivel nacional:**

- a) El Instituto Federal de Telecomunicaciones, el cual otorga los títulos de concesión y apoya a la SICT para la coordinación de recursos orbitales.
- b) La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, la entidad responsable de tramitar la solicitud de recurso orbital ante la UIT.
- c) La Agencia Espacial Mexicana, encargada de llevar el registro nacional de actividades espaciales.
- d) En caso de usar frecuencias atribuidas al servicio de aficionados por satélite, con la Federación Mexicana de Radio Experimentadores, con la que se puede verificar que se cumpla con los requisitos de radioaficionados. [10]

### **Actores con los que se interactúa a nivel internacional:**

- a) La Unión Internacional de Telecomunicaciones, la cual coordina internacionalmente la ocupación de órbitas y posiciones orbitales con sus respectivas bandas de frecuencia asociadas. Esta interacción se lleva a cabo a través de la SICT.
- b) En caso de usar frecuencias atribuidas al servicio de aficionados por satélite, con la Unión Internacional de Radioaficionados, para realizar la coordinación de frecuencias de radioaficionados.
- c) La Organización de las Naciones Unidas, a través de la UNOOSA encargada del registro de objetos espaciales. Esta interacción se lleva a cabo a través de la AEM.

Existe la posibilidad de que se requiera interactuar con administraciones de otros países, a través de la SICT, para resolver posibles interferencias que el nuevo sistema satelital pudiera causar a otros sistemas.

“Reloj regulatorio” es el concepto que se utiliza para estimar el tiempo necesario para obtener el título de concesión y también indica el límite de tiempo que se otorga para poner en operación el satélite. Si el satélite no se pone en órbita y se pone en funcionamiento antes de que el reloj regulatorio expire, se perderá la prioridad de ocupación y se requerirá que el solicitante someta nuevamente la solicitud de recurso orbital.<sup>[10]</sup>

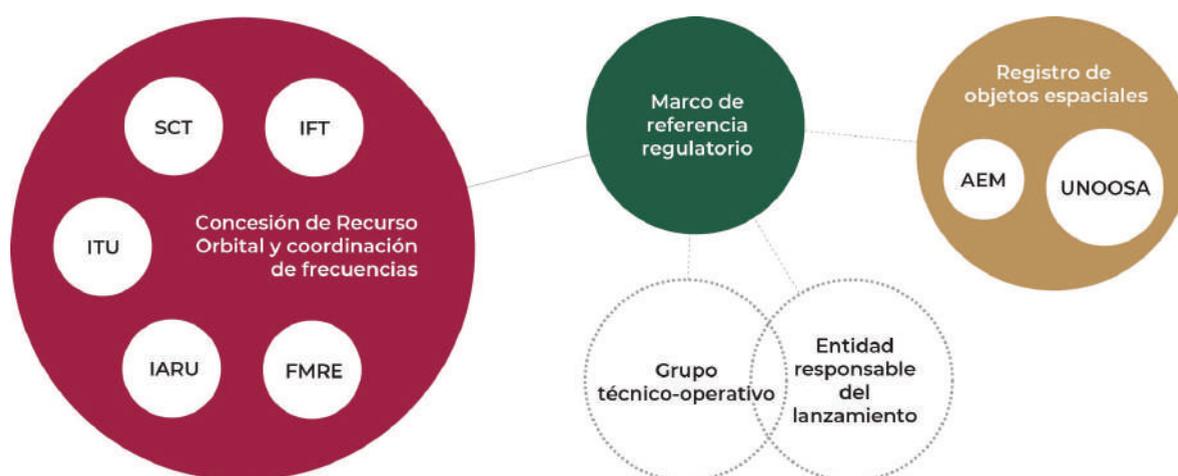


Figura 3. Ecosistema de la regulación satelital en México  
Guía de orientación regulatoria para satélites pequeños <sup>[10]</sup>

## A. La concesión

El procedimiento para solicitar una concesión requiere, en primer término, definir la concesión solicitada. El tipo de concesión dependerá de la naturaleza del solicitante, las bandas de frecuencia a utilizar y de los propósitos del proyecto satelital. Asimismo, las solicitudes de concesión requieren de información técnica del sistema de comunicación satelital, así como de documentos probatorios, por lo que es recomendable que se integre esta información desde un principio para facilitar la integración del expediente. Una vez que el expediente está completo se debe realizar el pago de derechos y se presenta el expediente ante el IFT. En las secciones siguientes se presenta a más detalle el procedimiento de solicitud.<sup>[7]</sup>

Cabe reiterar que concesionar un bien de dominio público de la nación, como lo es el espectro radioeléctrico o los recursos orbitales, no crea

un uso irrestricto sobre él por parte del concesionario, ya que el Estado mantendrá el dominio originario, inalienable e imprescriptible sobre el espectro radioeléctrico, incluso una vez concesionado.

## Tipos de concesión

Para la obtención de la concesión en la IFETEL son varios los factores que se deben de analizar, pero el más importante es determinar el régimen de concesión que se requiere de acuerdo con la finalidad de la misma.

En la tabla 6 se hace un resumen de los tipos de concesión con algunos comentarios pertinentes para su análisis.

**Tabla 6.**

Tabla resumen descriptiva de los tipos de concesión por su finalidad [información obtenida de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión vigente, que se encuentra en la página web del Instituto Federal de Telecomunicaciones].

TIPO DE CONCESIÓN	ARTÍCULOS DENTRO DE LA LEY FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES DE JULIO DE 2014	COMENTARIOS
<b>PARA USO COMERCIAL</b>	Artículo 76 sección I Artículo 78	Confiere el derecho a personas físicas o morales para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado y para la ocupación y explotación de recursos orbitales con fines de lucro.
<b>PARA USO PÚBLICO</b>	Artículo 76 sección II Artículos 83, 84 y 85	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En este tipo de concesión se incluyen los órganos de gobierno, las instituciones de educación superior, los permisionarios de servicios públicos, distintos a los de telecomunicaciones o de radiodifusión, cuando estas sean necesarias para la operación y seguridad del servicio de que se trate.</li> <li>2. Este tipo de concesiones no se podrán usar, aprovechar o explotar con fines de lucro, las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico de uso determinado o para la ocupación y explotación de recursos orbitales, de lo contrario deberán obtener una concesión para uso comercial.</li> <li>3. Este tipo de concesión se otorga mediante asignación directa hasta por 15 años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales.</li> <li>4. Para esta concesión se puede utilizar una empresa constituida y acreditada como asociación civil sin fines de lucro.</li> </ol>

TIPO DE CONCESIÓN	ARTÍCULOS DENTRO DE LA LEY FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES DE JULIO DE 2014	COMENTARIOS
<b>PARA USO PRIVADO COMUNICACIÓN PRIVADA</b>	Artículo 76 sección IIa Artículo 78	Confiere el derecho para usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico o para la ocupación de y explotación de recursos orbitales, con propósitos de comunicación privada.
<b>PARA USO PRIVADO EXPERIMENTAL</b>	Artículo 76 sección IIIb Artículos 78 y 82	<p>1. Confiere el derecho para usar y aprovechar bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico o para la ocupación y explotación de recursos orbitales, con propósitos de investigación en nuevas tecnologías.</p> <p>2. En este tipo de concesión no se confiere el derecho de explotar comercialmente bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico ni de ocupar y explotar recursos orbitales.</p> <p>3. Este tipo de concesión se otorgará directamente sujeto a disponibilidad hasta por un plazo improrrogable de dos años, excepto cuando se trate de radioaficionados, en cuyo caso se podrán otorgar hasta por cinco años prorrogables conforme el capítulo VI de la Ley Federal de Telecomunicaciones. Este tipo de concesión no es transferible.</p> <p>4. Para el otorgamiento de esta concesión se requiere el pago previo de una contraprestación de acuerdo a la Ley de Telecomunicaciones vigente.</p>
<b>PARA USO SOCIAL</b>	Artículo 76 sección IV	<p>Este tipo de concesión se otorga a los medios comunitarios e indígenas, así como las instituciones de educación superior de carácter privado.</p> <p>Confiere el derecho de usar y aprovechar bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico o recursos orbitales para prestar servicios de telecomunicaciones o radiodifusión con propósitos culturales, científicos, educativos o a la comunidad, sin fines de lucro.</p> <p>Quedan comprendidos en esta categoría lo medios comunitarios e indígenas referidos en el artículo 67, fracción IV, así como las instituciones de educación superior de carácter privado.</p>
<b>PARA RECURSO ORBITAL</b>	Artículos 92 y 96	<p>Las concesiones para ocupar y explotar recursos orbitales para uso comercial o para uso privado, en este último caso para los propósitos previstos en el artículo 76, fracción III, inciso a), se otorgarán, previo pago de una contraprestación, mediante licitación pública, salvo lo dispuesto en la Sección VI de este Título, para lo cual se deberán observar los criterios previstos en los artículos 28 y 134 de la Constitución.</p> <p>La Ley contempla dos esquemas para obtener una concesión de recurso orbital:</p> <p>a) Por licitación, cuando el Estado mexicano cuenta con la prioridad de ocupación de recursos orbitales</p>

<p><b>PARA RECURSO ORBITAL</b></p>	<p>Artículos 92 y 96</p>	<p>el gobierno hace una convocatoria pública para que se presenten ofertas para la ocupación y explotación de dichos recursos.</p> <p>b) Por solicitud de parte interesada, en este caso, el Estado no cuenta con el recurso orbital, por lo que al recibir una solicitud en esta modalidad se deberá realizar el trámite ante la UIT para obtener dicho recurso a favor del Estado mexicano. En caso de que la solicitud de recurso orbital sea favorable y se le entregue la prioridad de ocupación, el IFT entregará la concesión de manera directa.</p>
<p><b>ADMINISTRACIÓN DE ESPECTRO</b></p>	<p><b>ARTÍCULOS DENTRO DE LA LEY FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES DE JULIO DE 2014</b></p>	<p><b>COMENTARIOS</b></p>
<p><b>ESPECTRO RADIO ELÉCTRICO</b></p>	<p>Artículos 56,57 y 58</p>	<p>Para la adecuada planeación, administración y control del espectro radioeléctrico y para su uso y aprovechamiento eficiente, el Instituto deberá mantener actualizado el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias con base en el interés general. El Instituto deberá considerar la evolución tecnológica en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, particularmente la de radiocomunicación y la reglamentación en materia de radiocomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.</p> <p>El Instituto garantizará la disponibilidad de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico o capacidad de redes para el Ejecutivo federal para seguridad nacional, seguridad pública, conectividad de sitios públicos y cobertura social y demás necesidades, funciones, fines y objetivos a su cargo. Para tal efecto, otorgará de manera directa, sin contraprestación, con preferencia sobre terceros, las concesiones de uso público necesarias, previa evaluación de su consistencia con los principios y objetivos que establece esta Ley para la administración del espectro radioeléctrico, el programa nacional de espectro radioeléctrico y el programa de bandas de frecuencias.</p>

Información extraída del sitio de IFT  
 “Ley Federal de las Telecomunicaciones y Radiodifusión” del 14 de julio de 2014.

### Implicaciones de la concesión

El párrafo décimo octavo del artículo 28 de la Constitución establece que las concesiones del espectro radioeléctrico serán otorgadas mediante licitación pública, a fin de asegurar la máxima concurrencia, previniendo fenómenos de concentración que contraríen el interés público y asegurando el menor precio de los servicios al usuario final; en ningún caso el factor determinante para definir al ganador de la licitación será meramente económico. Por su parte, el artículo 78 de la Ley establece que las concesiones en uso, aprovechamiento o

explotación del espectro radioeléctrico para uso comercial se otorgarán únicamente a través de un procedimiento de licitación pública previo pago de una contraprestación. De manera similar el artículo 92 de la Ley establece que las concesiones para ocupar y explotar recursos orbitales para uso comercial se otorgarán, previo pago de una contraprestación, mediante licitación pública, salvo lo dispuesto por la misma Ley.

Las concesiones para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado y para la ocupación y explotación de recursos orbitales se otorgarán por el Instituto por un plazo de hasta veinte años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales conforme a lo dispuesto por la misma Ley. Para el otorgamiento de las prórrogas de las concesiones a que se refiere este artículo será necesario que el concesionario hubiere cumplido con las condiciones previstas en la concesión que se pretenda prorrogar; lo solicite antes de que inicie la última quinta parte del plazo de la concesión, y acepte las nuevas condiciones que establezca la propia Secretaría. Las solicitudes así presentadas serán resueltas en un plazo que no excederá de 180 días naturales. <sup>[9]</sup>

Para el otorgamiento de las prórrogas de concesiones de bandas de frecuencias o de recursos orbitales será necesario que el concesionario la solicite al Instituto dentro del año previo al inicio de la última quinta parte del plazo de vigencia de la concesión, se encuentre al corriente en el cumplimiento de las obligaciones establecidas en la Ley y demás disposiciones aplicables, así como en su título de concesión.

Cuando la explotación de los servicios objeto de la concesión sobre el espectro radioeléctrico requiera de una concesión única, esta última se otorgará en el mismo acto administrativo, salvo que el concesionario ya cuente con una concesión.

## **Terminación de la concesión y mecanismos de recuperación del espectro**

La Ley, en su artículo 115, establece que las concesiones terminan por:

- I. Vencimiento del plazo de la concesión, salvo prórroga de la misma;
- II. Renuncia del concesionario;
- III. Revocación;
- IV. Rescate, o
- V. Disolución o quiebra del concesionario.

La terminación de la concesión no extingue las obligaciones contraídas por el concesionario durante su vigencia.



## Factores que pueden influir en la planificación espectral

**Tabla 7.**

Factores que pueden influir en la planificación espectral <sup>[1]</sup>  
 Unión Internacional de Telecomunicaciones, Aspectos  
 económicos de la gestión del espectro.

FACTORES POLÍTICOS Y JURÍDICOS	FACTORES SOCIALES Y ECOLÓGICOS
<p>Ley Nacional de Radiocomunicaciones Requerimientos reglamentarios</p> <p>Cuadro internacional de atribución de bandas de frecuencias (UIT)</p> <p>Organismos regionales de gestión de frecuencias</p> <p>Procedimiento nacional de atribución de bandas de frecuencias</p> <p>Procedimientos de gestión de frecuencias de las administraciones vecinas</p> <p>Política de normalización Infraestructura de telecomunicaciones</p> <p>Cuestiones industriales</p> <p>Necesidades de usuarios</p> <p>Seguridad y protección públicas</p>	<p>Variación de la demanda como consecuencia de los cambios en la estructura social</p> <p>Aceptación pública de las aplicaciones inalámbricas Contaminación electromagnética e interferencia de radiofrecuencia</p> <p>Rechazo público a las grandes estructuras de antenas y a la proliferación de emplazamientos Basura espacial</p>
FACTORES ECONÓMICOS	FACTORES TECNOLÓGICOS
<p>Desarrollo económico global</p> <p>Estructura de precios y tarifas para equipos y servicios</p> <p>Necesidades del mercado y cuestiones de comercialización</p> <p>Procedimientos y prácticas utilizadas por los proveedores de servicios</p> <p>Concesiones del espectro y tasas</p> <p>Repercusión económica de los nuevos servicios y tecnologías</p>	<p>Movilidad de los usuarios</p> <p>Tecnologías básicas</p> <p>Microelectrónica</p> <p>Procesamiento de señales</p> <p>Procesamiento de datos en telecomunicaciones</p> <p>Componentes de los equipos</p> <p>Fuentes de alimentación</p> <p>Baterías</p> <p>Medios de comunicación</p> <p>Técnicas de codificación (fuente y canal) y de modulación</p> <p>Técnicas de acceso al canal y modos de transmisión</p> <p>Técnicas de espectro ensanchado</p> <p>Técnicas de diversidad, por ejemplo, en el tiempo, en frecuencia, y espacial</p> <p>Diseño y optimización de antenas</p> <p>Características de antenas, por ejemplo, en dirección o adaptable</p> <p>Reducción del nivel de los lóbulos laterales del diagrama de radiación de la antena</p>



## B. Análisis comparativo de otros procesos de concesión

Las asignaciones de frecuencias han mantenido el estado de un recurso global compartido desde la adopción del Tratado de las Naciones Unidas sobre el Espacio Ultraterrestre de 1966.<sup>[12]</sup> Los procesos de concesión de licencias con la verificación de las capacidades técnicas y financieras son más rigurosos y completos en los países de la OCDE, liderada por los Estados Unidos y el Reino Unido. Los países no pertenecientes a la OCDE a menudo carecen de los recursos financieros y técnicos para llevar a cabo una selección rigurosa y transparente.<sup>[16]</sup>

El punto de partida para la operación de cualquier servicio satelital es que el operador potencial obtenga acceso a las asignaciones de frecuencia y una posición orbital asociada (u órbita en el caso de satélites no geoestacionarios). Con la creciente demanda de espectro y gracias a los avances tecnológicos (siempre que sea sujeto a la selección de parámetros técnicos apropiados), se pueden ubicar múltiples satélites en posiciones orbitales. Las autoridades reguladoras nacionales (ARN) en todo el mundo emplean una variedad de procesos para otorgar, emitir o asignar licencias para operaciones satelitales, así como para gestionar redes satelitales.<sup>[16]</sup>

Además, algunas ARN utilizan un proceso de licencia diferente para satélites con las mismas características orbitales que están destinadas a diferentes tipos de uso. Por ejemplo, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos tiene un proceso para satélites de órbita geoestacionaria (GEO), este mismo proceso se altera dependiendo de si el satélite de órbita geoestacionaria se utilizará en el Servicio de Satélite de Radiodifusión o servicio fijo por satélite.<sup>[13]</sup> Del mismo modo, en el Reino Unido el proceso de Ofcom (Oficina de Comunicaciones del Reino Unido) para evaluar las solicitudes de las asignaciones de frecuencia propuestas varía dependiendo de si la asignación ya está planificada o no para su uso por un operador de satélite del Reino Unido.<sup>[14]</sup>

A continuación se visualiza un análisis comparativo entre los procesos de diferentes países que utilizan tres distintos para la gestión de sus licencias, así como para aprobar o coordinar operaciones de satélites de órbita geoestacionaria, los cuales son los siguientes:

1. “Primero en llegar, primero en ser servido”, First Come First Served (FCFS);
2. “Subastas”;
3. Revisión comparativa (o proceso de adjudicación).



## FCFS

La razón más común por la que las autoridades reguladoras nacionales usan FCFS para licenciar operaciones satelitales es la efectividad. Al limitar el proceso de revisión a una sola aplicación (en lugar de múltiples en revisión comparativa o subastas) los reguladores pueden eliminar esencialmente todos los posibles retrasos que podrían ocurrir entre recibir una solicitud y la emisión de una decisión. <sup>[16]</sup> De hecho, fue por esa razón que la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos comenzó a utilizar este proceso en 2003, ya que creían que el proceso acelerado conduciría a muchas otras ventajas: <sup>[15]</sup>

*El procedimiento por orden de llegada nos permitirá actuar de manera eficiente en la aplicación satelital comparado con el procedimiento actual de ronda de procesamiento. Por lo tanto, los consumidores se beneficiarán porque recibirán el servicio más rápido. Además, nuestro procedimiento conducirá al uso más eficiente del espectro porque reducirá la cantidad de tiempo que el espectro permanece en espera. Además, un procedimiento de licencia más rápido permitiría a los operadores de satélites estadounidenses cumplir con los requisitos de puesta en servicio de la UIT, ayudando a preservar el liderazgo de los Estados Unidos en la industria satelital. En consecuencia, promovería el interés público de adoptar un procedimiento por orden de llegada para tantos tipos de licencias satelitales como sea posible, excepto aplicaciones del tipo no geoestacionario (NGEO, por sus siglas en inglés), debido a que la licencia del primer solicitante para operar en una determinada banda de frecuencia podría evitar que otros solicitantes utilicen ese espectro.* <sup>[13]</sup>

## Subastas

La motivación más común detrás del uso de un proceso de subasta es extraer el valor del mercado de un recurso público, en este caso, el espectro satelital. Las subastas tienen el doble propósito de determinar quién tiene potencial necesario para hacer uso efectivo del recurso. <sup>[16]</sup>

## Revisión comparativa

El principal beneficio del proceso de revisión comparativa es que las autoridades reguladoras nacionales pueden utilizar este proceso para ir más allá de las obligaciones y tener licenciarios potenciales que contribuyan a objetivos regulatorios y de políticas adicionales, tales como:

- Gasto en investigación y desarrollo;
- Creación de empleos técnicos y profesionales bien remunerados y crecimiento de la economía;
- Prestación de servicios modernos de telecomunicaciones para zonas remotas del país que carecen de plataformas de acceso universal. [16]

**Tabla 8.**

Análisis comparativo de los procesos de concesión. [16]

PROCESO	PAÍS - AGENCIA	LICENCIA / ASIGNACIÓN
<b>PRIMERO EN LLEGAR, PRIMERO EN SER SERVIDO (FCFS)</b>	Estados Unidos: Comisión Federal de Comunicaciones, (FCC, por sus siglas en inglés)	Satélites de órbita geoestacionaria
	Reino Unido: Oficina de Comunicaciones del Reino Unido, Ofcom (por sus siglas en inglés)	Red satelital, frecuencia de bandas no planificada
	Reino Unido: Agencia Espacial del Reino Unido.	Estación Espacial
<b>SUBASTAS</b>	Brasil: Asociación Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL)	Derecho de exploración espacial
	México: Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT)	Concesiones para el uso de bandas de frecuencia
<b>REVISIÓN COMPARATIVA</b>	Reino Unido: Oficina de Comunicaciones del Reino Unido (Ofcom, por sus siglas en inglés)	Red satelital, bandas de frecuencia planificadas

**Tabla 9.**

Gestión del espectro a nivel internacional <sup>[16]</sup>

	FCFS	SUBASTAS	REVISIÓN COMPARATIVA
DEMANDA COMPETITIVA	X	✓	X
COMPETENCIA LIMITADA	✓	X	✓
FUNCIÓN EN AUSENCIA DE COMPETENCIA	✓	X	X
PREVISIBILIDAD	✓	X	X
OBJETIVIDAD	✓	✓	X
SE OBTIENE CONTRIBUCIÓN ADICIONAL DEL LICENCIATARIO	X	X	✓

En el caso de Estados Unidos de Norteamérica, las responsabilidades de la NASA incluyen la regulación y supervisión informal (junto con otras agencias espaciales) de las asignaciones de espectro que la UIT ha realizado a los servicios de ciencias espaciales. Además de reunirse regularmente con homólogos internacionales como la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Espacial de Japón (JAXA), la NASA lidera el Grupo de Coordinación de Frecuencia Espacial (SFCCG) y el Grupo Asesor de Operaciones Interagencias (IOAG). Estas son organizaciones de agencias espaciales que hacen acuerdos y proporcionan recomendaciones sobre cómo mejorar el uso de bandas de frecuencia asignadas y cómo proporcionar apoyo coordinado para las misiones de los demás. <sup>[17]</sup>

La NASA también participa en actividades de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL), una entidad dentro de la Organización de Estados Americanos (OEA) que coordina las telecomunicaciones importantes en el hemisferio. Esta participación es especialmente importante porque en las conferencias de la UIT el SFCCG proporciona una posición unificada de los intereses de las ciencias espaciales y la CITEL proporciona una posición unificada de los países del hemisferio. <sup>[17]</sup>

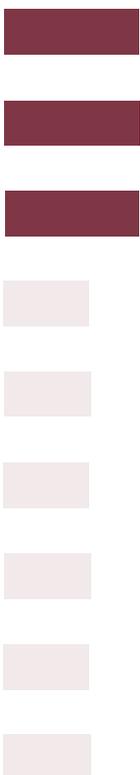
## C. Tendencias en materia de regulación satelital

### C.1 Consideración del uso de las bandas de frecuencia 17.7-19.7 GHz (espacio-Tierra) y 27.5-29.5 GHz (Tierra-espacio) por estaciones terrenas en movimiento comunicando con estaciones espaciales geoestacionarias en el servicio fijo por satélite y de las medidas apropiadas

La demanda de banda ancha sigue aumentando en todo el mundo, y no es específica de la ubicación. Esta demanda comprende requisitos de conectividad para usuarios en aeronaves, barcos y vehículos (incluidos los servicios de primeros auxilios) que funcionan en posiciones fijas o en movimiento. Estas tres plataformas distintas necesitan conectividad ininterrumpida a lo largo de sus rutas de viaje, las cuales les llevan a menudo a través de sectores sin servicio en las principales áreas metropolitanas, así como en zonas menos pobladas. La UIT lleva años tratando de satisfacer esta importante necesidad.

Avances en la fabricación de satélites y la tecnología direccional de estaciones terrenas, particularmente en el desarrollo de antenas estabilizadas capaces de mantener un alto grado de precisión, han hecho que las estaciones terrenas con características de precisión muy estable estén disponibles y sean prácticas. Estas estaciones terrenas pueden operar en el mismo entorno de interferencia, y cumplir con las mismas restricciones regulatorias y técnicas que las estaciones terrenas típicas del servicio FSS GEO. Los operadores de red satelital están diseñando, coordinando y poniendo en uso las redes GEO del FSS que pueden ofrecer servicios de banda ancha tanto estacionaria como de estaciones terrenas móviles usando una antena direccional estabilizada dentro de los parámetros técnicos existentes del FSS GEO.

Las actuales redes del servicio fijo por satélite de la órbita geoestacionaria de 30/20 GHz proporcionan una conectividad asequible y fiable que cumple los requisitos de conectividad de banda ancha de los pasajeros y tripulaciones a bordo de aeronaves, vehículos y barcos, incluso las aplicaciones de satélites de alto rendimiento (HTS). Los adelantos en la fabricación de satélites y la tecnología de estaciones terrenas direccionales, particularmente la creación de antenas de estación terrena estabilizadas en ejes múltiples, capaces de mantener un apuntamiento sumamente preciso, ya sean estacionarias o a bordo de plataformas que se desplazan con rapidez, permiten que las estaciones terrenas con características de apuntamiento muy estable sean tanto accesibles como prácticas.



El UIT-R lleva años estudiando el despliegue de estaciones terrenas en movimiento (ESIM, por sus siglas en inglés) que se comunican con estaciones espaciales del FSS. La CMR-15 adoptó disposiciones reglamentarias para la explotación de ESIM que comunican con estaciones espaciales GEO del FSS en las bandas 29.5-30 GHz y 19.7-20.2 GHz con arreglo al número 5.527A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y la Resolución 156 (CMR-15), y anteriores conferencias mundiales de radiocomunicaciones adoptaron disposiciones para la explotación de ESIM en buques marítimos que comunican con estaciones espaciales GEO del FSS en las bandas bajas del FSS.

Las bandas consideradas más recientemente para la comunicación de las ESIM con las estaciones espaciales GEO del FSS son las bandas 27.5-29.5 GHz y 17.7-19.7 GHz. Estas bandas se consideraron al margen de los “500 MHz superiores” de la banda de 30/20 GHz debido al hecho de que las bandas superiores están predominantemente atribuidas a los servicios por satélite, mientras que los segmentos inferiores de las bandas de 30/20 GHz están compartidos a escala mundial con los servicios fijo y móvil, así como otros usuarios. En la Resolución 158 (CMR-15) se fijaron los casos que requerían estudio en las bandas 27.5-29.5 GHz y 17.7-19.7 GHz. En los casos en que se demostraba que se requerían disposiciones para la protección de los servicios y aplicaciones existentes, caso de los sistemas del servicio móvil, del servicio fijo y del FSS N GEO en porciones de la banda sujetas al número 22.2 del RR, se han identificado o están próximos a la conclusión estudios encaminados a determinar las condiciones necesarias para dicha protección.

El UIT-R determinó que podría elaborarse y aplicarse efectivamente una resolución en la que se recogieran las condiciones reglamentarias, técnicas y operativas para la explotación de ESIM a bordo de aeronaves, buques marítimos y vehículos terrestres.<sup>[8]</sup>

## **C.2 Uso de las asignaciones de frecuencia a todos los sistemas N GEO, y la consideración de un enfoque basado en hitos para el despliegue de sistemas N GEO en bandas y servicios de frecuencia específicos**

El UIT-R ha estudiado tanto la puesta en servicio de asignaciones de frecuencia a sistemas satelitales no geoestacionarios (N GEO) como la posibilidad de adoptar un enfoque basado en hitos para el despliegue de sistemas N GEO compuestos por constelaciones de múltiples satélites. Los estudios del UIT-R han llegado a dos conclusiones generales, una relacionada con el concepto de puesta en servicio y la otra relacionada con el enfoque basado en hitos para el

despliegue de sistemas N GEO, cada uno con múltiples opciones de implementación. La primera conclusión general es que la puesta en uso de asignaciones de frecuencia a sistemas N GEO debe continuar logrando el despliegue de un satélite en uno de los planos orbitales notificados dentro de los siete años a partir de la fecha de recepción de la publicación anticipada de información (API) o solicitud de coordinación como aplicable. Esta conclusión se aplica a las asignaciones de frecuencia para todos los sistemas N GEO en todas las bandas y servicios de frecuencia.

La segunda conclusión general es que se debe adoptar una nueva resolución de la CMR para implementar un enfoque basado en hitos para despliegue de sistemas N GEO en bandas y servicios de frecuencia específicos. Este enfoque proporcionaría un periodo adicional más allá del periodo reglamentario de siete años para el despliegue de la cantidad de satélites, tal como se notifica y registra, con el objetivo de ayudar a garantizar que el Registro Internacional de Frecuencias (MIFR) refleje razonablemente el despliegue real de dichos sistemas N GEO. [8]

### **C.3 Procedimiento reglamentario modificado para sistemas satelitales de órbita no geoestacionaria con misiones de corta duración**

Las disposiciones vigentes del RR para la publicación anticipada y la notificación de satélites en virtud de los artículos 9 y 11 no tienen en cuenta el ciclo de desarrollo corto, las vidas cortas y las misiones típicas de los satélites con órbitas no geoestacionarias con misiones de corta duración. Por lo tanto, se requiere un procedimiento reglamentario modificado para la publicación anticipada, notificación y registro de sistemas satelitales N GEO con misiones de corta duración.

El desarrollo, así como la operación exitosa y oportuna de sistemas satelitales N GEO con misiones de corta duración, requiere procedimientos reglamentarios que tengan en cuenta la naturaleza y las circunstancias para el despliegue de estos sistemas.

Muchos de estos sistemas de satélites N GEO están siendo desarrollados por instituciones académicas, organizaciones de aficionados o por países en desarrollo que utilizan estos satélites para desarrollar su experiencia en el desarrollo de capacidad espacial. Los procedimientos reglamentarios actuales para redes y sistemas satelitales tienden a incurrir en dificultades para los sistemas satelitales N GEO con misiones de corta duración que deben notificarse a la UIT. Esto puede tener consecuencias adversas en el manejo de la interferencia,

ya que estos sistemas satelitales actualmente brindan una gama de servicios y no se limitan al servicio satelital de aficionados, como fue inicialmente el caso. [8]

A partir de 2019 se ha desarrollado un nuevo proyecto de resolución de la CMR, junto con un procedimiento reglamentario asociado para sistemas satelitales N GEO con misiones de corta duración para abordar este problema.

#### **C.4 Servicios de satélites y redes de contribución de medios en la era de los satélites de “alto rendimiento”**

La transmisión por satélite a través de satélites geoestacionarios seguirá siendo de uso generalizado. Será una fuente principal de ingresos para los operadores de satélites en el futuro previsible. Sin embargo, la evolución de la tecnología en los próximos años también ofrecerá la posibilidad de nuevos servicios a través de satélites de muy alto rendimiento (VHTS, por sus siglas en inglés) y satélites geoestacionarios “multipunto”. Además, habrá nuevos satélites no geoestacionarios, de órbita terrestre baja (LEO) y órbita terrestre media (MEO), de diferentes tamaños y capacidades. En general, es probable que haya una gran competencia por los servicios.

Se prevé que las fuerzas del mercado reducirán los costos del servicio. Además, las futuras terminales de usuario lograrán un mayor grado de flexibilidad y menores costos, un entorno tan competitivo no solo será bueno para los operadores y proveedores de servicios; ayudará a las organizaciones que brindan servicios en múltiples regiones. Además, reducirá la cantidad de organizaciones intermediarias necesarias para hacerlo.

Se espera que los miles de canales de televisión satelital transmitidos continúen siendo una parte importante de la entrega de medios al consumidor, pero la llegada de VHTS y satélites no geoestacionarios abrirá puertas a nuevos servicios y mercados. Como ejemplo, entre ellos habrá una nueva era de “generación de noticias por satélite”.

Otro ejemplo, ahora ampliamente utilizado, es descargar o transmitir un video de noticias a través de internet móvil. Los reporteros usan “mochilas de comunicaciones” y acceden a las mejores conexiones locales de internet móvil disponibles donde se encuentran. Si está disponible, hoy utilizarán una conexión a internet de banda ancha móvil 4G. Pero hay limitaciones. Al igual que con todas las conexiones a internet, la velocidad de bits que se puede usar está limitada por el

número de usuarios simultáneos en un momento dado. La entrega por internet puede estar limitada por la congestión de la red.<sup>[8]</sup>

### C.5 Redes 5G

Uno de los objetivos importantes a corto plazo es garantizar que haya suficiente espectro terrestre disponible a nivel mundial para permitir el despliegue de comunicaciones en cualquier momento y en cualquier lugar a través de redes 5G. Con la disponibilidad de redes de órbita de satélites geoestacionarios de banda ancha y alta capacidad de alto rendimiento, como el Hughes JUPITER y el despliegue pendiente de mega constelaciones de sistemas de órbita satelital no geoestacionaria, está claro que los beneficios de 5G pueden llegar a partes del mundo donde las redes 5G terrestres nunca estarán disponibles.

Hoy, las redes satelitales están proporcionando servicios de banda ancha de alta velocidad a millones de usuarios en todo el mundo. Los usuarios se conectan directamente a través de canales satelitales utilizando terminales de apertura muy pequeña (VSAT), o mediante una arquitectura híbrida, mediante la cual los VSAT proporcionan una red de retorno satelital de servicios inalámbricos terrestres entregados a través de dispositivos celulares / WiFi. Por ejemplo, en Brasil, Hughes ha implementado una red satelital terrestre combinada, para llevar conectividad de alta velocidad a centros comunitarios y escuelas remotas de pueblos de la región amazónica. La próxima generación de estas redes promete conectar a los miles de millones de personas sin servicios o con servicios insuficientes, con una capacidad aún mayor y servicios de mayor velocidad a nivel mundial, abriendo un mundo de oportunidades para las personas en todas partes.

Con este fin, el Proyecto de Asociación de 3ra Generación (3GPP), un organismo de estándares terrestres enfocado en desarrollar el estándar para redes 5G (en cumplimiento con los requisitos IMT-2020 de la UIT), ha trabajado para desarrollar estándares que incluyan tecnología satelital, asegurando que el satélite desempeñará un papel importante en la infraestructura 5G.

Sin embargo, las frecuencias de satélite esenciales necesarias para alcanzar este objetivo están amenazadas. Debe entenderse que estas bandas de ondas milimétricas se pusieron a disposición hace una década o más para garantizar que las futuras redes satelitales de datos de alta velocidad tuvieran un amplio espectro, y de hecho son

la base de productos y servicios diseñados y construidos para operar hoy, para soportar cientos de millones de usuarios a nivel mundial.

Como ejemplo, Hughes está expandiendo activamente sus servicios satelitales de banda ancha a través de América en estas bandas, además del desarrollarlo de un nuevo satélite de alto rendimiento (JUPITER 3), con planes de lanzamiento para el 2021, uniéndose a dos satélites HTS existentes.

Si bien también es necesario disponer de espectro adicional para el 5G terrestre, dado que se está analizando un total de 33 GHz de espectro para IMT 2020, es más factible que sean pocos los GHz de espectro necesarios para los servicios satelitales que sean protegidos. Un posible impacto de proporcionar dicho espectro protegido para dispositivos de usuario y puertas de enlace sería la limitación del servicio 5G a cientos de millones de usuarios potenciales en áreas urbanas y rurales, a través de arquitecturas híbridas terrestres-satelitales rentables. [8]

## C.6 Satélites y su importancia en la nueva era de la televisión

Los profundos cambios que se han extendido por el sector de la comunicación satelital en los últimos años, causados por la aparición de nuevos modelos de distribución y consumo, soluciones y reproductores, están dando un nuevo impulso a las aplicaciones de video. Estos han representado 80% del tráfico de la red de comunicaciones, sin dejar de ser la actividad principal de los operadores de satélites mundiales como Eutelsat, lo que representa la mayor parte de su facturación (66 por ciento en 2017 y 2018). En 2016, el video representó 60% del volumen de la capacidad ofrecida por los satélites de comunicaciones comerciales que operan a 36 000 km sobre la Tierra en órbita de satélites geoestacionarios. [8]

En los países desarrollados este mercado ha alcanzado madurez, con estabilidad global esperada en los próximos años debido a un doble fenómeno. Por un lado, se vislumbra el aumento de la potencia de alta definición (HD) y ultra alta definición (UHD), que requieren una mayor capacidad por canal y, por lo tanto, es necesario impulsar el crecimiento (un repetidor de satélite puede transmitir 20 canales con resolución estándar y MPEG-4, o nueve con HD y MPEG-4).

Euroconsult también prevé que el número de canales de alta definición aumentará a una tasa anual media ponderada de 10% para llegar a más de 11 000 canales en 2027. Al mismo tiempo, los avances técnicos en términos de compresión de la señal de televisión tienen

un efecto negativo en la demanda. El despliegue del estándar DVB-S2 y la adopción de la norma de compresión MPEG-4 permiten transmitir hasta el doble de canales por repetidor, optimizando así el uso del ancho de banda entre canales de TV y reduciendo el costo de acceso a la capacidad satelital para los recién llegados. [8]

En las economías emergentes, por otro lado, el crecimiento es más fuerte y la demanda de volumen aumenta de forma pronunciada. El principal impulsor del crecimiento es el aumento del número de canales emitidos, que se ha duplicado en los últimos cinco años.

El aumento potencial en el número de canales transmitidos podría ser significativo ya que, por ejemplo, actualmente solo hay dos canales por millón de habitantes en África subsahariana, en comparación con más de 30 por millón de habitantes en América del Norte. Además, la radiodifusión HD en África sigue siendo mucho menos frecuente que en los países desarrollados. La penetración de HD en África, por ejemplo, se sitúa en sólo 5%, en comparación con 34% en Europa occidental [8]. Así, la penetración de la alta definición, que también aumentará en las economías emergentes en los próximos años, tendrá un impacto en el crecimiento del video por satélite.

Además, el satélite tiene un papel importante que desempeñar en el contexto del auge de la televisión digital terrestre (TDT) en las economías emergentes, especialmente en África, ya que la amplia cobertura que ofrece le permitirá alimentar los repetidores de TDT y proporcionar cobertura adicional para los hogares que están fuera del alcance de las redes terrenales.

Más allá de las rápidas transformaciones que acompañan al auge de las nuevas normas, el profundo cambio que afecta a los modelos de consumo, con el rápido declive de la televisión lineal en favor del consumo diferenciado o del video a la carta, está acelerando la convergencia del consumo de radiodifusión y el despliegue de redes de banda ancha, concebidas teniendo especialmente en cuenta los servicios digitales e internet.

Esto significa que la división histórica en la estructura del mundo de las telecomunicaciones por satélite se está debilitando rápidamente, con todas las actividades futuras en esta esfera relacionadas con el despliegue de satélites de muy alta capacidad dedicados a internet y el transporte de imágenes y textos con la misma facilidad, idéntica a la de todos los datos. Además, esta primera transformación va acompañada de una segunda, que se deriva del hecho de que el modo de consumo preferido será el móvil, utilizando terminales portátiles

(teléfonos inteligentes) y móviles (autos y aviones autónomos), y dejará de ser el servicio fijo.

Por ello, no es de extrañar que operadores de satélites como Eutelsat desarrollen también soluciones que permitan la integración completa del consumo de video en el ecosistema IP, con el fin de mejorar considerablemente la experiencia del espectador (televisión conectada y soluciones multipantalla). En este sentido, Eutelsat lanza en 2018 CIRRUS, una tecnología híbrida satélite-OTT (servicios superpuestos) que permite a los canales de televisión acelerar el despliegue de sus servicios de video, reducir sus costes operativos y combinar la calidad de imagen con la experiencia del usuario. [8]

Al ofrecer conectividad “en cualquier lugar y en cualquier momento”, el satélite, con una cobertura territorial que complementa la de las redes terrenales y una diversidad cada vez mayor de los servicios que ofrece, se convertirá en un componente indispensable para el despliegue de las redes de quinta generación (5G) y de las aplicaciones móviles en particular. También proporcionará las armas más eficaces en empeño por cerrar la brecha digital, en términos de eficiencia de los servicios y costes de despliegue, lo que justificará la asignación continua del espectro necesario para las soluciones de satélite, sin las cuales no podrían desplegarse. [8]

### **C.7 La nueva generación de satélites en movimiento**

Inmarsat ha liderado la innovación en el sector de las comunicaciones móviles por satélite desde su creación por la Organización Marítima Internacional (OMI) en 1979, con el objetivo de ofrecer la primera red de comunicaciones por satélite del mundo dedicada a la seguridad marítima. Inmarsat fue el primer operador de satélites en cumplir los estrictos requisitos del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM) y, posteriormente, de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para las comunicaciones en materia de seguridad aeronáutica a escala mundial. Actualmente, los servicios y redes de comunicaciones por satélite de Inmarsat no sólo salvan vidas, sino que además dotan de autonomía a personas y comunidades, propician la actividad comercial, prestan servicios a los gobiernos y facilitan la labor humanitaria a distancia en todo el mundo.

Es necesario centrarse en soluciones que permitan ofrecer un tipo de conectividad que sobrepase el alcance de las redes terrenales, ya sea para gobiernos, organismos de asistencia, armadores o aerolíneas, por citar algunos ejemplos. La constelación de satélites de la

red mundial de banda ancha (BGAN) (en banda L) proporciona una cobertura móvil global sin interrupciones, que conecta a personas y máquinas en lugares remotos por tierra, mar y aire, permitiendo así el funcionamiento de internet de las cosas (IoT) y el acceso a Internet. Global Xpress (GX) fue la primera red de banda ancha móvil de alta velocidad disponible a escala mundial y facilitada por un único operador. Dicha red ofrece soluciones mejoradas en banda Ka. [8]

Inmarsat ha establecido pautas para las comunicaciones en cabina de pilotaje a un ritmo constante y cuenta con más de tres décadas de compromiso con los servicios de seguridad de la aviación. Al día de hoy, más de 90% de las aeronaves que atraviesan los océanos de todo el mundo, más de 12000 aeronaves en total, recurren a sus servicios operativos y de seguridad para la comunicación y la vigilancia. La mayoría de las aerolíneas líderes a escala mundial, así como de los propietarios de reactores comerciales de pequeña, mediana y gran escala, los organismos dedicados a la aviación general y las agencias gubernamentales han utilizado los servicios Classic Aero de Inmarsat durante más de 25 años.

El servicio SwiftBroadband Safety (SB-S) de Inmarsat representa la próxima generación de conectividad operativa y de seguridad, y aporta una visibilidad revolucionaria al sector de la aviación. Una flota de satélites de Inmarsat utiliza espectro en banda L para prestar estos servicios y brindar cobertura en todo el mundo.

GX Aviation ofrece Wi-Fi de alta velocidad sin interrupciones, constituyendo una alternativa al improvisado mosaico de servicios en banda Ku, la gran mayoría de los cuales no han sido diseñados para su movilidad y no satisface el alto nivel de fiabilidad que requieren los pasajeros y la industria aeronáutica. Dadas las previsiones según las cuales el tráfico aéreo europeo se duplicará en la próxima década, la Red Europea de Aviación (EAN) ha sido concebida para aumentar su capacidad y adaptarse a la creciente demanda. Al combinar inicialmente el satélite multihaz en banda S de Inmarsat con casi 300 torres en tierra instaladas por Deutsche Telekom, puede modularse de manera sencilla y rentable. El ancho de banda se gestiona de forma dinámica, la EAN goza de la flexibilidad necesaria para adaptarse al ritmo de los cambios futuros.

La EAN figura entre las principales innovaciones de Inmarsat. Se trata de la primera red de comunicaciones por satélite/terrenales móviles totalmente integrada del mundo, desarrollada con el fin de procurar conectividad de banda ancha y alta calidad a pasajeros de aeronaves de corto recorrido en toda Europa. La EAN combina con éxito un satélite en banda S, que proporciona cobertura a toda Europa, con



una red de estaciones LTE (evolución a largo plazo) en tierra que se extiende por todo el continente. La EAN utiliza las gamas de espectro 1980-2 010 MHz y 2 170-2 200 MHz. El sistema por satélite-tierra combinado utiliza y asigna con eficacia el mismo espectro en banda S entre ambos componentes de la red a través de un mecanismo de gestión de recursos centralizado y dinámico que Inmarsat controla en calidad de operador de satélites.

La EAN es fruto de una colaboración con Deutsche Telekom y otros líderes en innovación del espacio tecnológico europeo, y ofrece a los pasajeros de aerolíneas europeos una experiencia de conectividad en vuelo de próxima generación, que engloba una amplia gama de aplicaciones, desde medios sociales hasta la emisión de video en continuo, y conduce a los ciudadanos a bordo hacia un mundo conectado. La EAN constituye una innovación en términos no solo tecnológicos, sino también normativos y de concesión de licencias. El sistema utiliza espectro radioeléctrico armonizado y concedido por primera vez a escala paneuropea con arreglo a una serie de decisiones de la Unión Europea (UE). En virtud de estas decisiones, Inmarsat (como uno de los dos operadores seleccionados) pudo implantar un sistema móvil por satélite compuesto por dos componentes: un enlace de servicio móvil por satélite y un componente terrestre complementario (un servicio móvil terrestre).

La UE otorgó derechos con el objetivo de implantar el sistema móvil por satélite en cada uno de los 28 Estados miembros de la Unión, incluidas las licencias de la componente terrenal conexas, en las que se fundamentan las licencias de espectro y de servicio que debe conceder cada Estado miembro.

Sin embargo, el proceso de concesión de licencias relativas al componente terrestre ha resultado más complejo, puesto que las decisiones de la UE otorgan una mayor discrecionalidad a los Estados miembros en lo tocante a las metodologías de concesión de licencias y a los cánones aplicables. Teniendo en cuenta que esta red de conectividad en vuelo es única en su género, varios Estados miembros tuvieron que adaptar sus marcos normativos para dar cabida a dicho servicio específico. Por otra parte, los derechos de utilización del espectro para la componente espacial dimanaban directamente de las decisiones de la UE y, en la mayoría de los casos, se traspusieron a los planes nacionales de frecuencias sin necesidad de incluir licencias individuales. Además de la UE, otros países (por ejemplo, Noruega y Suiza) han expedido autorizaciones para el sistema por satélite/terrenal integrado. [8]

La labor de coordinación internacional del espectro ha figurado entre las claves del éxito en la implantación del servicio EAN en toda Europa, concretamente en lo que respecta a los países vecinos no pertenecientes a la Unión. Era esencial garantizar que los sistemas de los países vecinos no pertenecientes a la Unión (por satélite o terrenales) no corrieran el riesgo de causar interferencia perjudicial al sistema EAN, lo que podría en última instancia repercutir en la prestación del servicio dentro de la zona de cobertura.

Estos problemas se están abordando en el marco de una serie de estudios de coordinación bilateral. La Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) también ha contribuido en la materia a través de recomendaciones para la asignación de espectro en banda S al servicio móvil por satélite (SMS) con el uso de un componente terrenal complementario (CGC), en virtud de las Decisiones 06(09) y 06(10) de la CCE. Estas decisiones ya se han aplicado en un gran número de países.

Si bien se han obtenido condiciones de compatibilidad satisfactorias para la explotación de la EAN y de otros usuarios de telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) en bandas adyacentes, y habida cuenta de la experiencia referente a la compartición de la EAN con otros servicios terrenales en la misma frecuencia, es crucial garantizar las salvaguardias adecuadas para evitar que los sistemas IMT que funcionan en la misma banda que la EAN (1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz) causen interferencia. En los estudios elaborados por el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) en el marco de este punto del orden del día se ha analizado todo tipo de hipótesis de interferencia, partiendo de un supuesto en que la componente terrenal de las IMT se implanta en un país y la componente de satélite en otro. [8]

Cabe destacar que, en el caso de la posible interferencia de las estaciones base IMT terrenales a las estaciones espaciales de satélite, los estudios y la propia experiencia práctica de Inmarsat han demostrado que la implantación de sistemas IMT terrenales con determinadas configuraciones podría causar niveles extremadamente elevados de interferencia a los satélites del SMS. De acuerdo con los estudios del UIT-R, el medio más eficaz para evitar la interferencia a los receptores de satélite del MSS consiste en velar por que la banda 1980-2010 MHz, de utilizarse para sistemas IMT terrestres, se limite a los enlaces ascendentes (es decir, desde el terminal de usuario móvil de transmisión hasta el receptor de la estación base).

Cabría elaborar posibles enmiendas al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) a fin de proteger el funcionamiento exento de

interferencias del MSS evitando la utilización simultánea e independiente por otros transmisores de estaciones base IMT o limitando las emisiones de las estaciones base IMT en la banda de enlace ascendente (1980-2 010 MHz). [8]

## C.8 Internet de las cosas

Con independencia de la aplicación, la creación del marco para una infraestructura mundial de IoT genera externalidades socioeconómicas positivas y la forma más sencilla de conseguirlo es mediante satélites. Por consiguiente, los órganos rectores que establecen las condiciones en las que las redes de satélite pueden acceder al espectro tienen la obligación de garantizar un entorno reglamentario justo, abierto y competitivo, aplicable tanto a los operadores consolidados como a los nuevos.

Los satélites tradicionales tardan un decenio y cientos de millones de dólares en construirse y ponerse en servicio, mientras que los satélites pequeños de la nueva generación tardan una décima parte del tiempo en entregarse y a una centésima parte del coste. Lamentablemente, el marco reglamentario que deben cumplir estos satélites fue concebido para los satélites tradicionales y su ciclo de desarrollo, y por lo general se adapta a dicho marco.[8] La situación es que se podría ofrecer este servicio mundial de IoT por satélite por 2 USD/año/dispositivo, pero existe una alta probabilidad de encontrarse con importantes obstáculos reglamentarios. Por lo anterior, surge la necesidad de facilitar ese desarrollo en lugar de bloquearlo mediante la presentación de notificaciones tradicionales y reglamentos regionales. Con un cambio tan drástico en la tecnología, hay que llevar a cabo de forma eficiente la normatividad para fomentar la innovación y la inversión en el ámbito de las infraestructuras espaciales.

Dada la aparente ubicuidad y el despliegue y desarrollo progresivo de la IoT terrenal, las tendencias apuntan a redes de satélites N GEO novedosas, económicas, de rápida reposición y con diseño especializado. El rápido aumento de las constelaciones no geoestacionarias y las estaciones terrenas asociadas, tanto fijas como móviles, la hibridación de las plataformas de comunicaciones, la creciente complejidad de los satélites de muy alto rendimiento, así como el incremento del número de naciones capacitadas para acceder al espacio a través de tecnologías y lanzadores más económicos desembocan en una de las mayores preocupaciones de los gestores de la regulación satelital: la progresiva congestión del espectro de radiofrecuencias, que podría dar lugar a un aumento de las interferencias. [8]



### 3.3 Nuevas tecnologías

En materia de sistemas satelitales, desde la perspectiva de satélites geoestacionarios, se abordan distintas tendencias en términos del segmento satelital y del segmento terrestre. Algunas de estas tendencias se refieren a distintas dimensiones o a aspectos de cobertura y proveeduría, mientras que otras se orientan a la transversalidad que ambos segmentos guardan con otras tecnologías, o bien, a características asociadas a cambios, en especial disminución, en la masa de los satélites.

#### 3.3.1 Satélites de alto rendimiento (HTS, por sus siglas en inglés)

Aun cuando algunas de las tendencias tecnológicas se enfocan en reducir el costo de acceso al espacio mediante el desarrollo de la capacidad para reutilizar vehículos de lanzamiento, un nuevo nicho de oportunidad está siendo planteado en el territorio de las comunicaciones satelitales, de la mano de las plataformas de satélites de alto rendimiento (*High-Throughput Satellite* o HTS).

Un satélite bajo la plataforma HTS se caracteriza por dos factores clave: <sup>[19][38]</sup>

a) El uso de *haces puntuales* o *haces angostos* (una señal satelital especialmente concentrada en potencia, de tal manera que cubre un área relativamente pequeña). Estos se organizan en un arreglo de haces en mosaico, que permite la cobertura de un área mayor.

b) Reutilización de las bandas de frecuencias asignadas en haces no adyacentes. Es decir los canales con un mismo centro de frecuencia pueden ser utilizados más de una vez para diferentes áreas de cobertura, <sup>[39]</sup> por lo anterior, los HTS ofrecen más rendimiento que los satélites tradicionales de servicio fijo.

El impacto de esta tecnología ha sido tal, que, según el estudio de EuroConsult “FSS Operators: Benchmarks & Performance Review” próximamente encontraremos que operadores de servicios satelitales fijos migrarán de satélites tradicionales a plataformas HTS. <sup>[31]</sup>



## A. Perspectivas de crecimiento

Durante los últimos años los distintos servicios HTS se han diseminado en el mundo, por lo que los operadores satelitales han incorporado al mercado satélites HTS en banda Ka y Ku. [19][20] Estas plataformas buscan habilitar el desarrollo de aplicaciones que demanden un uso intensivo de ancho de banda, incluyendo televisión de ultra alta definición, conectividad de banda ancha para vivienda, negocios o pasajeros de aerolíneas comerciales y vehículos conectados.

La tecnología HTS tiene el potencial de disminuir la demanda de cierto tipo de satélites, debido a la transversalidad de sus aplicaciones para los distintos mercados. [18] Tan solo en 2017 la demanda de servicios FSS disminuyó 3%. [22] En contraste, de acuerdo con el estudio elaborado por Northern Sky Research (NSR), la demanda de capacidad en ese mismo año para satélites HTS era de 528 Gbps, estimando un crecimiento para alcanzar, en 2021, una demanda de hasta 1.9 Tbps. Lo que representa una tasa de crecimiento compuesto superior a 63%. [19] En correspondencia con lo anterior, se estima que el valor de mercado de los satélites de alto rendimiento (HTS) alcanzaron en 2017, el valor de \$3,466 millones de dólares, y se estima que dicha cifra se elevará a \$7.31 miles de millones de dólares en el año 2023. [47]

Tal como se muestra en la figura 4, los mercados más relevantes que han impulsado el desarrollo de los GEO HTS son: servicios de banda ancha, movilidad aérea y marítima, y red de soporte celular. Por otro lado, los usuarios finales de entidades gubernamentales y militares consumieron 30 Gbps durante 2018, proyectándose un crecimiento en la demanda de hasta 480 Gbps en 2028. [26] Una muestra de lo anterior se observa en la figura 5 al señalar cómo han variado las capacidades en Gbps de HTS desde 2013 hacia 2018, e indudablemente se nota la tendencia a la alza. Tan solo en América Latina el volumen subió de 1 Gbps a 279 Gbps durante estos cinco años. Para regiones como Estados Unidos y Canadá subió casi 350% en ese mismo periodo.

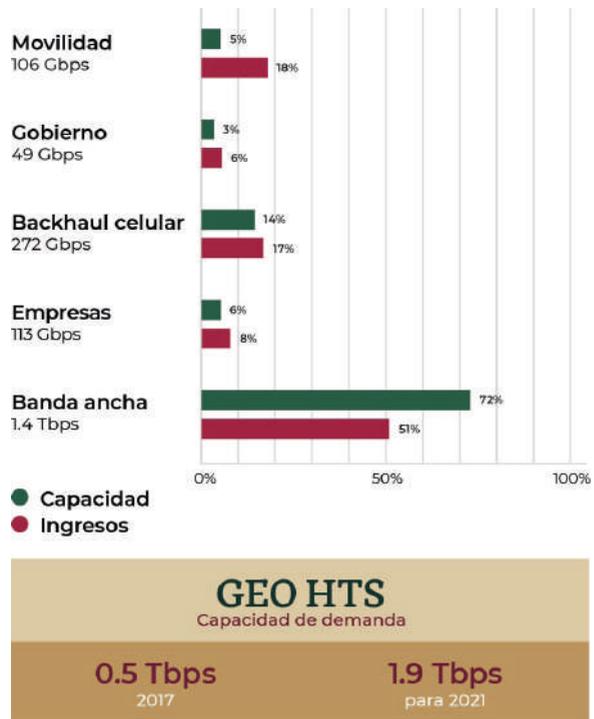


Figura 4. Prospectiva de ingresos y demanda de servicios HTS hacia el año 2021 [19]

Prospectivas más recientes indican que la demanda para tecnologías HTS alcanzará los 8 000 Gbps en 2028, identificando las siguientes verticales de mercado que conducirán este crecimiento. Entre estas verticales destacan: [42]

- Consumo de banda ancha.
- Conectividad rural.
- Gobierno civil.
- Redes corporativas y energía.
- Comunicaciones militares.
- Red de soporte celular y trunking.
- Aeroconectividad en vuelo.
- Comunicaciones marítimas
- Servicios de video.

De este modo, los HTS contribuyen significativamente a propiciar el acceso universal de banda ancha.

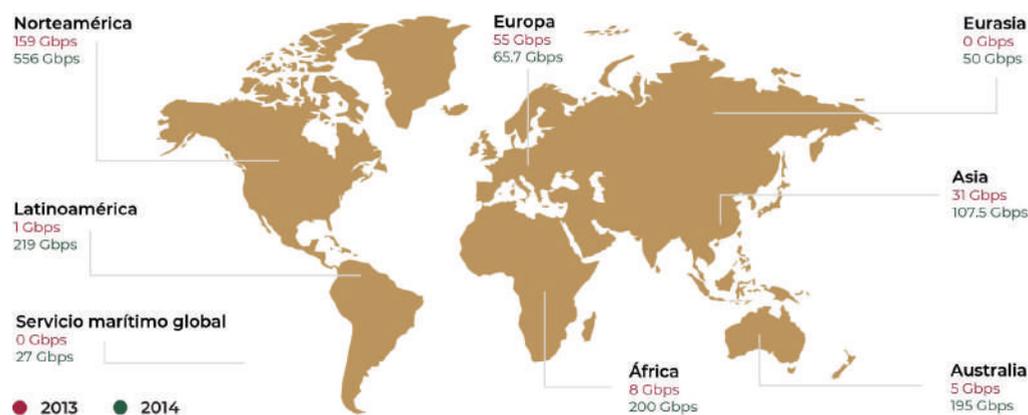


Figura 5. Capacidad Mundial HTS en Gbps, de 2013 a 2018. [45] [46]

**Tabla 10.**

Demanda estimada por banda de frecuencia hacia el año 2024.<sup>[38]</sup>

DEMANDA	BANDA DE FRECUENCIA	APLICACIÓN
1.1 TBPS	Ka	Acceso a banda ancha
0.05 TBPS	Ku	Acceso a banda ancha
184 GBPS	Ka	Otras aplicaciones
126 GBPS	Ku	Otras aplicaciones
15 GBPS	C	Otras aplicaciones

Se estima que la distribución hacia el año 2024 será de 1.1 Tbps de servicios de banda ancha que se proporcionarán vía banda Ka,<sup>[38]</sup> mientras que 0.05 Tbps corresponderán a HTS por medio de banda Ku, destacando también otras aplicaciones adicionales a la banda ancha en bandas Ka y Ku, incluyendo 15 Gbps proporcionados por HTS a través de banda C (véase la tabla 10).

## **B. Satélites de muy alto rendimiento (VHTS, por sus siglas en inglés)**

Los satélites de muy alto rendimiento (VHTS) representan una evolución de las tecnologías HTS hacia VHTS,<sup>[42]</sup> ofrecen servicios a un área amplia de territorio, lo que agrega valor para actividades de comunicaciones y servicios aeronáuticos o marítimos, por mencionar algunos.<sup>[40]</sup> Esta transición o evolución se da en términos de una mayor especialización de requerimientos tales como la reasignación de haces y el aumento del flujo de bits por segundo.<sup>[30]</sup> Esto supone un proceso de ajuste en el que se busca diseñar sistemas satelitales que cuenten con los mayores beneficios técnicos posibles en un contexto de viabilidad financiera, oportunidad de mercado, capacidad presupuestal y retorno de inversión, lo que implica la interacción de distintas variables.<sup>[39]</sup> Ejemplo de ello son las variantes en la complejidad de la carga útil, que reside en la utilización de amplificadores de onda progresiva (*Electron Beam Amplifiers, TWTAs*) (tradicionales) o bien, amplificadores de potencia de estado sólido (*solid state power amplifiers, SSPA*)<sup>[40]</sup>.

En términos generales, los requerimientos involucrados en los sistemas VHTS son: costo por capacidad, intersección entre la capacidad disponible y la demanda de capacidad, infraestructura terrestre y terminales<sup>[40]</sup>.

La métrica de mayor relevancia para los satélites HTS y VHTS es el costo por unidad de capacidad, que debe de tomar en consideración la infraestructura en Tierra y el rol esencial que representa para este sistema, así como aspectos de lanzamiento, y el seguro. En términos de intersección de disponibilidad con demanda de capacidad, es importante tomar en consideración la relación entre la capacidad disponible y la demanda existente. Un reto en este aspecto consiste en la identificación de la distribución geográfica de la demanda de capacidades, sin embargo, con una plataforma que permite reasignar haces se aborda el problema. Los costos en materia de infraestructura en Tierra se pueden abordar con dos elementos principales: componentes de radiofrecuencia (RF) y componentes de la banda base. Por otro lado, las terminales de recepción también representan un reto. <sup>[40]</sup>

La evolución entre las tecnologías HTS a VHTS puede apreciarse en la línea de tiempo de la figura 6, donde se muestran actores desde 2005, hasta Inmarsat, Hispasat y SES.

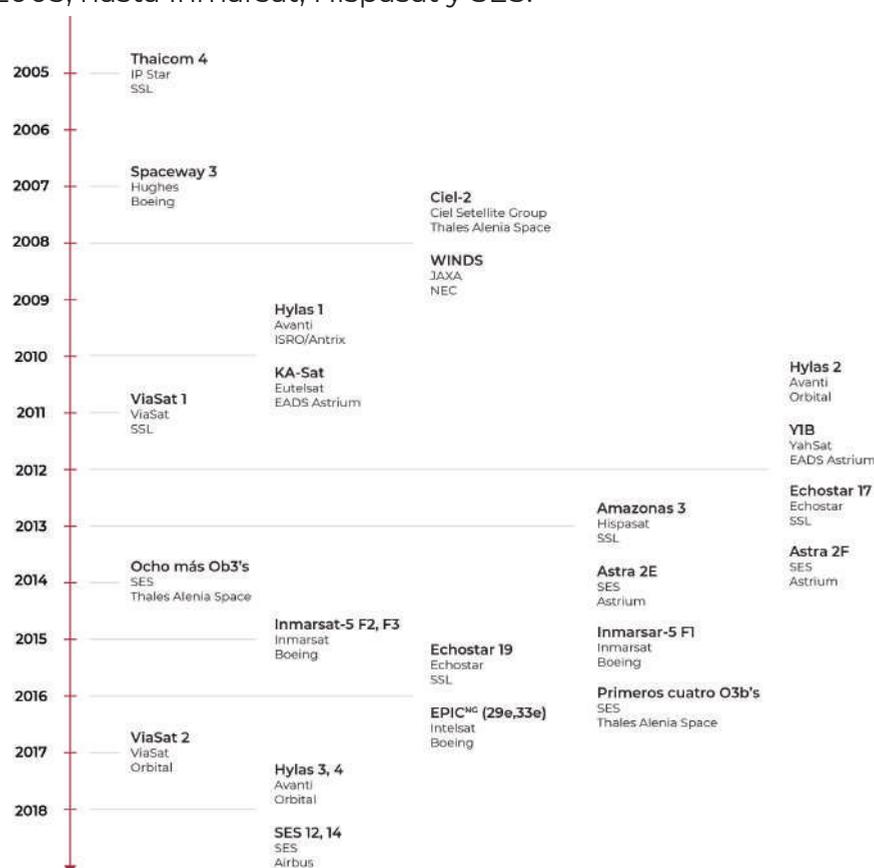


Figura 6. Línea de tiempo de lanzamientos con vehículos HTS de 2005 a 2018. <sup>[43]</sup>

Podemos encontrar algunos actores que desde 2017 ofrecen servicios basados en HTS y VHTS, dando cobertura a distintas partes del mundo (véase la tabla 11).

**Tabla 11.**

Algunos proyectos para servicios HTS o VHTS desde 2018 en órbitas GEO.

SATÉLITE	REGIÓN	CAPACIDADES	POSICIÓN	
<b>TELSTAR 19 VANTAGE</b>	Complementa la capacidad de Hughes 65 West en Brasil, mejora los servicios de Jupiter 2 en Colombia y da nueva conectividad a Perú, Ecuador y Chile.	Optimizada para atender aplicaciones de ancho de banda intensivo. Carga útil: Hughes 63W  Brinda capacidad sustancial a cinco países de Latinoamérica.	129° O	
<b>SES-15</b>	Canadá, Estados Unidos, México, Centroamérica y el Caribe	Carga útil híbrida: haces anchos en banda Ku y capacidades HTS en banda Ku, con conectividad a Gateways en banda Ka	129° O	
<b>SES-12</b>	Asia-Pacífico y regiones del Este medio. Regiones de alto crecimiento como India e Indonesia	Parte del sistema de 3 satélites junto con SES-15 y SES-14  6 haces anchos para demandas de conectividad en VSATS, empresas y aplicaciones gubernamentales  72 haces puntuales de alta eficiencia (HTS) para aplicaciones de datos grandes, como video streaming de alta definición para pasajeros aéreos y marítimos	95° E	

	MANUFACTURA	OPERADORES	ADICIONALES	LANZAMIENTO
	Space Systems Loral(SSL)	Telesat Canada Ltd.	Beacons: 11450 H/V/R, 11452 H/V/R	22 de julio de 2018  Cabo Cañaveral
	Boeing (Hughes)	SES	Tres satélites son necesarios para cubrir las capacidades terrestres de haces anchos y HTS.  Cuenta con una carga útil con un sistema WAAS que apoyará a la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos para aumentar sus sistemas de posicionamiento global (GPS) para mejorar la precisión, integridad y disponibilidad del sistema para la industria de aviación.  Beacons: 3700.2, 10700.5, 12199.5 (V, H, o LHCP)	18 de mayo de 2017  Soyuz Guyana Space Centre
	Airbus	SES	Tiempo estimado de vida: 15 años.  Antenas multi-beam conectadas a un procesador digital de señales. Emplea operaciones para elevación eléctrica en la órbita. Beacon: 11449.5, 11703.5	4 de junio de 2018  Falcon 9 Cabo Cañaveral

<p><b>SES-14</b></p>	<p>Latinoamérica, Caribe a través de la región del Atlántico norte</p>	<p>Carga útil en banda-C para dar soporte en Latinoamérica.</p> <p>Banda Ku para aumentar la capacidad en NSS-806 con haces anchos y haces puntuales de alta eficiencia. La carga útil HTS está equipada con un procesador digital transparente (DTP), incrementando la flexibilidad de la carga y permitiendo personalizar soluciones para los clientes.</p>	<p>47° O (47.5° O)</p>	
<p><b>SES-12 / SES-14</b></p>		<p>Las mismas que SES-15 principalmente para Aeroconectividad haces anchos y capacidad HTS.</p>		
<p><b>KONNECT VHTS</b></p>	<p>Europa y casi cobertura completa a la zona subsahariana de África.</p>	<p>Primer satélite en utilizar la nueva plataforma Spacebus de Thales Alenia Space.</p> <p>75 Gbps de capacidad a través de una red de 65 haces puntuales.</p>	<p>7° E</p>	
<p><b>EUTELSAT 172B</b></p>	<p>Océano Pacífico, sureste de Asia, noreste de Asia, Oceanía e islas del Pacífico</p>	<p>Movilidad, redes corporativas, redes carrier, gobierno, distribución y contribución de video.</p>	<p>172° E</p>	

	Airbus	SES	<p>Beacon: 12198H, 10953V</p> <p>Los haces puntuales de banda-Ku buscan dar soporte a la creciente demanda de aplicaciones de movilidad aeronáutica y marítima, red de soporte celular, entrega de banda ancha y servicios de VSAT para empresas y segmentos gubernamentales.</p> <p>Lleva la carga útil de NASA: Global-Scale Observations of the Limb and Disk (GOLD).</p>	<p>25 de enero de 2018</p> <p>Ariane 5 ECA Guyana Space Centre</p>
	Thales Alenia Space	Eutelsat Communications	<p>Se espera que esté operacional a finales de 2020. Proveerá servicios directos al usuario y servicios empresariales con platos de 75 cm. También será utilizado para redes comunitarias conectadas a puntos de conexión Wi-fi, red de soporte de telefonía móvil y conectividad rural.</p> <p>Beacons: 11701.6 LHCP, 11704 LHCP</p>	<p>16 de enero de 2020</p> <p>Ariane 5 ECA Guyana Space Centre</p>
	Airbus Defense and Space	Eutelsat Communications	<p>Carga útil HTS ofrecerá una cobertura optimizada y flexible para los principales proveedores de servicios de conectividad y entretenimiento a bordo (IFC / IFE), como Global Eagle, Gogo y Panasonic Avionics.</p>	<p>1 de junio de 2017</p>



		<p>Carga útil en banda C para dar soporte a usuarios de Eutelsat 172A.</p> <p>Carga útil regular en banda Ku para doblar cobertura de 172° Este y conectar: Pacífico norte, Noreste de Asia, Sureste del Pacífico, suroeste del Pacífico y el Pacífico Sur.</p> <p>Carga útil HTS en banda-Ku para proveer ancho de banda en vuelo, así como con diversos haces puntuales para las rutas aéreas de Asia y trans-Pacífico.</p>		
<b>INMARSAT GX5</b>	Europa, el Este medio y la India	72 haces de pincel en banda Ka para proveer servicios de muy alto rendimiento (VHTS)	11° E	
<b>VIASAT 3</b>	El primer satélite de la constelación de tres satélites proporcionará cobertura al continente americano, el segundo satélite a Europa, Este medio y África, mientras que el tercer eslabón al mercado Asia-Pacífico.	Constelación de tres satélites, cada uno de ellos de clase Viasat 3, que busca contar con más de 1 Tbps de capacidad de red, para proporcionar una red global de banda ancha para proporcionar servicios de internet de alta velocidad y calidad, así como servicios de streaming de videos.	88.9° o	

	Thales Alenia Space	Inmarsat	<p>Tiempo estimado de vida: 16 años</p> <p>Modelo de bus: Spacebus-4000B2</p>	<p>26 de noviembre de 2019</p> <p>Ariane 5 Ariane Launch Complex No. 3</p>
	Boeing	Viasat	<p>Banda Ka.</p> <p>Proporcionará Wi-fi a miles de millones de personas en mercados emergentes.</p> <p>Brindará soporte a miles de vuelos comerciales, de negocios y gubernamentales, en todo momento con cientos de Mbps para servicios de conectividad aéreos, de entretenimiento y streaming.</p> <p>Proveer hasta 1 Gbps para aplicaciones empresariales, comparable con las velocidades de red de fibra óptica de la infraestructura terrestre.</p>	<p>El primer satélite está programado para diciembre de 2020</p>

<p><b>VIASAT 3</b></p>	<p>El primer satélite de la constelación de tres satélites proporcionará cobertura al continente americano, el segundo satélite a Europa, Este medio y África, mientras que el tercer eslabón al mercado Asia-Pacífico.</p>	<p>Constelación de tres satélites, cada uno de ellos de clase Viasat 3, que busca contar con más de 1 Tbps de capacidad de red, para proporcionar una red global de banda ancha para proporcionar servicios de internet de alta velocidad y calidad, así como servicios de streaming de videos.</p>	<p>88.9° O</p>	
<p><b>EUTELSAT 10B</b></p>	<p>Cobertura desde el continente americano hasta Asia</p>	<p>Ofrecerá servicios de eficiencia significativa a zonas de alto tráfico aéreo y marítimo.</p> <p>Servicios: banda ancha, movilidad, gobierno, datos, video.</p>	<p>Sin información</p>	



	Boeing	Viasat	<p>Proveer una plataforma para que las áreas militares de Estados Unidos y de los integrantes del grupo de los Cinco Ojos (Servicios de Inteligencia gubernamentales) promuevan su desarrollo de aplicaciones basadas en inteligencia artificial y la nube, en una red táctica y altamente resiliente.</p> <p>Proveer velocidades de hasta 100 Mbps para Internet y servicios de voz sobre IP.</p>	El primer satélite está programado para diciembre de 2020
	Thales Alenia Space	Eutelsat Communications	<p>Busca atender la creciente demanda de conectividad móvil. Dos cargas útiles en banda Ku multibeam HTS: una cubre el corredor del Atlántico Norte, la cuenca del Mediterráneo y el Medio Oriente. La segunda carga útil da cobertura al océano Atlántico, África y el océano Índico</p> <p>Buscará procesar más de 50 GHz de ancho de banda, ofreciendo eficiencia de aproximadamente 35 Gbps.</p> <p>Contará con dos cargas útiles adicionales haces anchos en banda Ku y banda C, para asegurar la continuidad de los servicios a clientes existentes del Eutelsat 10A.</p>	Programado para 2022

Fuentes: [34][48] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58]

Si se analizan los lanzamientos en forma cronológica asignándoles un valor en términos de Gbps y comparamos los satélites FSS y las plataformas HTS en órbita geoestacionaria (para fines de la siguiente figura 7 se consideró como un factor de conversión de 1.5 bits por hertz), se destaca que para el periodo 2005 - 2018 la capacidad lanzada para FSS oscilaba alrededor de los 400 Gbps, en comparación con 950 Gbps para sistemas GEO-HTS. [59]

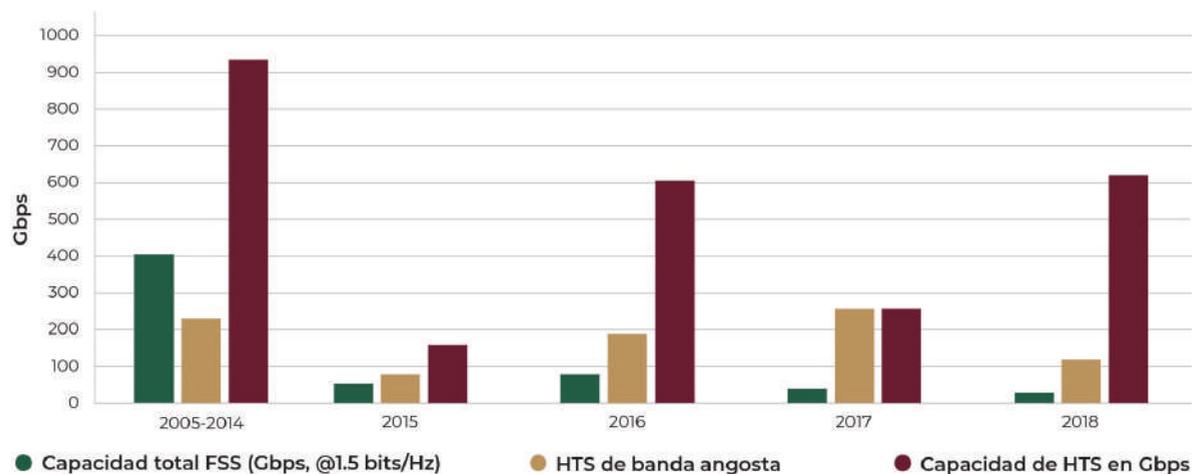


Figura 7. Capacidades en Gbps lanzadas entre 2005 y 2018, el caso de FSS versus GEO-HTS. [59]

Conforme transcurren los años se observan cambios en la tendencia. Incluso en 2015 se observa un valor lanzado de 80 Gbps para HTS distinto al servicio banda ancha, cifra que para 2016 se convirtió en 200 Gbps, llegando a 250 Gbps en 2017. Adicionalmente, se observa un repunte entre las cifras de capacidades HTS para banda ancha entre 2015 y 2018. Con el continuo cambio tecnológico no deja de ser una realidad que conforme transcurre el tiempo y se desarrollan nuevas tecnologías las nuevas tecnologías VHTS se nivelarán con sus sucesoras y pasarán a ser las nuevas HTS.

Dada la creciente demanda de servicios, se espera que los futuros desarrollos de satélites de alto rendimiento considerarán el uso de la banda Q/V. Al usar esta banda para el enlace de conexión se liberaría espectro de banda Ka para el enlace del usuario. Al ser frecuencias más altas, el haz es más angosto, mejorando el margen del enlace. Sin embargo, el reto es desarrollar la tecnología con estas consideraciones para el manejo de las altas pérdidas atmosféricas. [45]

Por otra parte, se observará un notable incremento en las demandas de conectividad en transportes aéreos y marítimos, y la transversalidad de estas tecnologías con otros paradigmas como internet de las cosas, 5G, big data y servicios en la nube.

## C. Efectos del uso de tecnologías HTS y VHTS

La llegada de las plataformas VHTS y HTS para LEO, así como sus cargas útiles hospedadas, han inducido una reducción de precios. A finales de 2019 la cifra se aproximaba a los 200 USD/Mbps/mes para HTS en banda Ka, y 300 USD/MHz/mes para ancho de banda. Este fenómeno de disminución de precios se espera que continúe y genere presión en los operadores satelitales para desarrollar e implementar las estrategias adecuadas. [33]

Algunas empresas han dado un giro a la situación, optimizando el manejo de activos y ofreciendo servicios de movilidad con aquellos satélites que se aproximan al final de su vida útil. En otros escenarios, se observa que en la fabricación de satélites con capacidades de video estos se podrán beneficiar mediante la inclusión de cargas útiles HTS adicionales. Para los casos de inversiones de muy alto riesgo este se puede reducir mediante fuertes compromisos previos al lanzamiento y/o contratos preexistentes de servicios de video, así como desarrollos conjuntos de cargas útiles HTS con proveedores de aeroconectividad. [34]

Algunos de los riesgos en relación con el mercado que advierten expertos de empresas como Eutelsat e Intelsat consisten en: [43]

- **Erosión de los precios de los servicios satelitales.** Es decir, los precios disminuirán más rápido de lo que originalmente habían previsto las empresas, aproximadamente 50% en los próximos años.
- **Canibalización del mercado.** Las renovaciones de contratos por servicios de datos se están renovando por 20% menos de ingresos.
- **Ocupación menor y más lenta.** Han aparecido diferentes proveedores de servicios HTS; al aumentar la oferta de servicios, las empresas encuentran más complicado llenar sus espacios disponibles. Estiman alcanzar una ocupación de entre 40 y 60% los próximos tres años (bajo para estos sistemas).
- **Mayor complejidad en las adquisiciones gubernamentales.** Los procesos de adquisiciones a nivel gubernamental, particularmente en términos de defensa, son más complejos y difíciles. Los contratos actuales equivalen a 65% de los contratos de años previos. Esto sin considerar las variaciones del dinero en el tiempo.

En contraste, otros actores como Hughes, Viasat y NSR señalan lo siguiente: [43]

- Si bien pudiera ser un problema en el corto plazo, no consideran como un riesgo el que exista una gran oferta de servicios HTS.
- En la actualidad hay ofertas de ancho de banda de alto precio y escasez de servicios dentro de un presupuesto asequible.
- Muchos mercados son cerrados en diferentes niveles, lo que limita la penetración de mercado para nuevas plataformas.

### 3.3.2 Nuevas tecnologías en comunicaciones satelitales para los próximos 25 años

Cuando se piensa en la idea de cómo será la tecnología en los próximos 25 años, se suele partir de los últimos avances en materia de desarrollo e investigación y sus tendencias. En las comunicaciones satelitales ocurre de manera similar, el desarrollo tecnológico actual en este campo está enfocado en los satélites definidos por software, inteligencia artificial, enlaces ópticos, bandas superiores de frecuencia y los satélites de órbita baja (LEO: Low-Earth Orbit), siendo estos aspectos una parte fundamental que dará origen a las comunicaciones por satélite del futuro. [A]

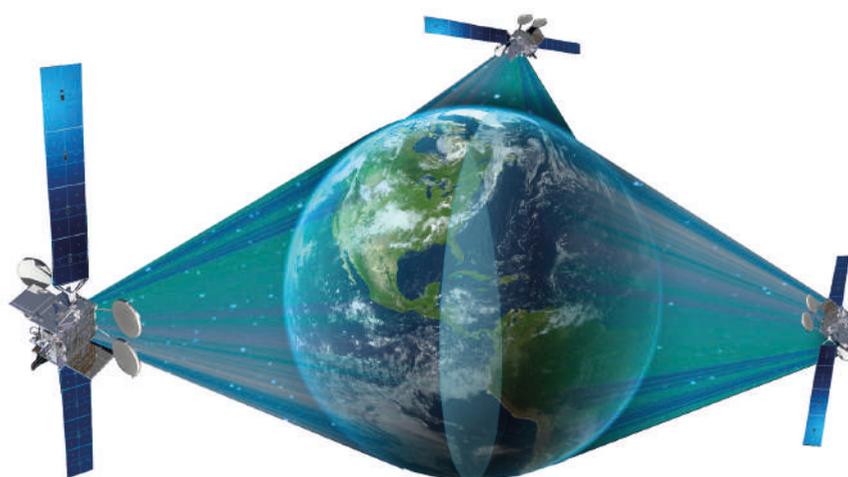


Figura 8. Flota Viasat-3. [A]

Actualmente, estamos a la puerta de los lanzamientos de los primeros satélites VHTS que entregarán +500 Gbps (HUGHES-Jupiter 3, planeada para 2022) u otros más ambiciosos como VIASAT-3, que planea entregar alrededor de 3 Tbps con una flota de tres satélites de ultra alto rendimiento (UHTS-Ultra High Throughput Satellite) y que actualmente está en fase de prueba en Boeing. En cambio, Eutelsat lanzó satisfactoriamente desde la Guyana Francesa a bordo del Ariane 5, su satélite EUTELSAT-QUANTUM, manufacturado por Airbus, siendo el primer satélite completamente definido por software. Esto supone un paso revolucionario en lo que a configuración y flexibilidad de cobertura, frecuencia y posición orbital se refiere.

En este contexto, muchos profesionales e investigadores en el campo de las comunicaciones satelitales envisonan que los satélites geostacionarios (GEO: Geosynchronous equatorial orbit) y los no geostacionarios (NGSO: Nongeostationary Satellite Orbits) serán capaces de enlazarse sin problemas con las redes de comunicaciones terrestres e incluso con los sistemas de plataforma de gran altitud (HAPS: High-Altitude Platform Systems).

Sin embargo, la tendencia actual de la industria satelital está más enfocada en los satélites de la órbita LEO, tales como O3b, Starlink, OneWeb, etc., incrementando el ancho de banda de este tipo de sistemas en favor de sus principales aplicaciones como la conectividad a internet y monitoreo remoto. No obstante, los expertos creen que los satélites GEO VHTS/UHTS jugarán un papel crucial en el futuro de la conectividad, especialmente que los satélites VHTS/UHTS están pensados para servir en poblaciones densamente pobladas que complementados con la naturaleza de los satélites LEO lograrán tener una cobertura global muy poderosa y robusta.

En este punto, se entiende que cada vez la capacidad de los sistemas satelitales irán en aumento, por esta razón, JUPITER 3 será uno de los primeros satélites que use una configuración mixta de frecuencia en sus enlaces, es decir, las bandas Q/ V para los enlaces de alimentación (feeder links), mientras que para los enlaces de usuario usará la banda Ka, ofreciendo una gran capacidad para el usuario, óptimo procesamiento a bordo y enlaces dirigidos a una región específica. De esta forma, el futuro de los sistemas satelitales estará en tener enlaces intersatélites, enlaces de tipo óptico y operar enteramente en bandas como la Q/V e incluso en la banda W.

Dada la complejidad de los nuevos sistemas satelitales, hay expertos que pronostican que habrá satélites de masas muy grandes, debido especialmente a las dimensiones de las futuras antenas, por lo que deberán ser lanzados por partes, incluso usando lanzadores de

grandes capacidades como el Falcon Heavy de Space X, para ser ensamblados en órbita desde la Estación Espacial Internacional (ISS: International Space Station), muy posiblemente por robots. [B]



Figura 9. Lanzador Falcon Heavy. [B]

En el segmento terrestre, muchas innovaciones también parecen venir de la mano, se cree que de aquí a 25 años las terminales de usuario dejarán de ser las tradicionales antenas parabólicas, siendo reemplazadas por arreglos de antenas en fase (Phased Array Antennas). Cada terminal de usuario será multibanda, con acceso a varias tecnologías de radio, pudiendo enlazarse no solo con satélites GEO, sino con MEO y LEO de manera simultánea, además de poder conectarse con redes celulares, como un plus adicional. Es importante mencionar que este tipo de tecnología es posible que sea implementada actualmente, pero es muy costosa e inalcanzable para un usuario promedio. [C]

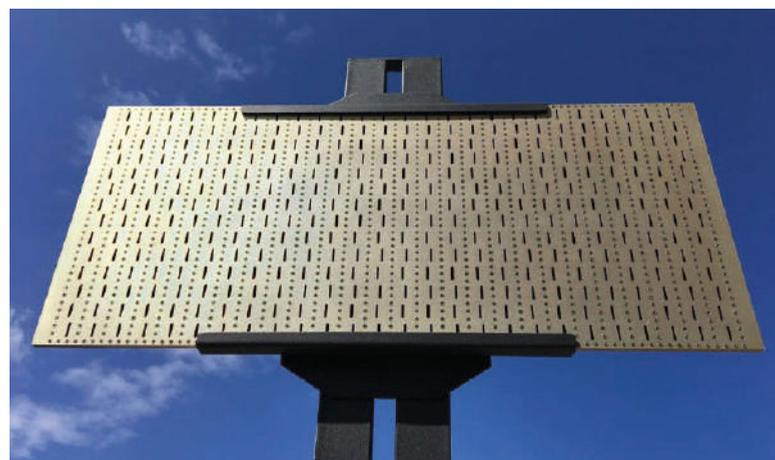


Figura 10. Phased Array Antenna. [C]

De todas maneras, la integración de nuevas tecnologías en la fabricación de chips de tecnología ARM, sumado al rápido desarrollo de la inteligencia artificial, hará que los precios disminuyan y el transporte de la información mucho más inteligente y eficiente, incrementando la experiencia del usuario, así como la calidad del enlace de comunicación. Por ejemplo, el sistema será capaz de reconocer una comunicación prioritaria y de alta velocidad con baja latencia, por lo cual esta se conectará a un enlace terrestre, mientras que para búsqueda en la Web podría usar sistemas LEO y finalmente para streaming y descarga podría reubicarse en un sistema GEO.

En un futuro hiperconectado no solo dependerá de tener la descarga de video más rápida o poder usar el teléfono en cualquier parte, sino también la capacidad de monitorear en áreas remotas mediante el internet de las cosas (IoT: Internet of Things). Se estima que para los siguientes 25 años cada granja o terreno remoto, con fines agrícolas o de investigación, e incluso en océanos para diversas aplicaciones como plataformas petroleras, nivel del mar, huracanes, etc., podrá ser monitoreado mediante todo tipo de sensores y actuadores, con el fin de obtener datos para su control y constante vigilancia. Esto supone una mayor eficiencia, procesos menos costosos y un mayor rendimiento en el área en que estemos implementando IoT. Esto implica que también se extenderá a todo tipo de medios de transporte así como la digitalización de nuestro día a día, llegando a formar parte de los conocidos ecosistemas de “Smart Cities”.

Finalmente, este tipo de avances en las comunicaciones va a trascender más allá de nuestro planeta. La investigación y el turismo en la Luna, además de la colonización de Marte, serán un hecho dentro de los próximos 25 años. Por lo tanto, los satélites GEO en la Luna y Marte van a ser una necesidad para poder comunicarse desde y hacia la Tierra con los turistas e investigadores que vayan tanto a la Luna como a Marte. Este escenario es una motivación no solo para la industria sino para la academia, para trabajar en lo que serán las plataformas de comunicación para los próximos años, creando una conectividad segura, de calidad, confortable y por sobre todo con una experiencia de poder comunicarse desde cualquier punto del planeta así como fuera de él. [D]

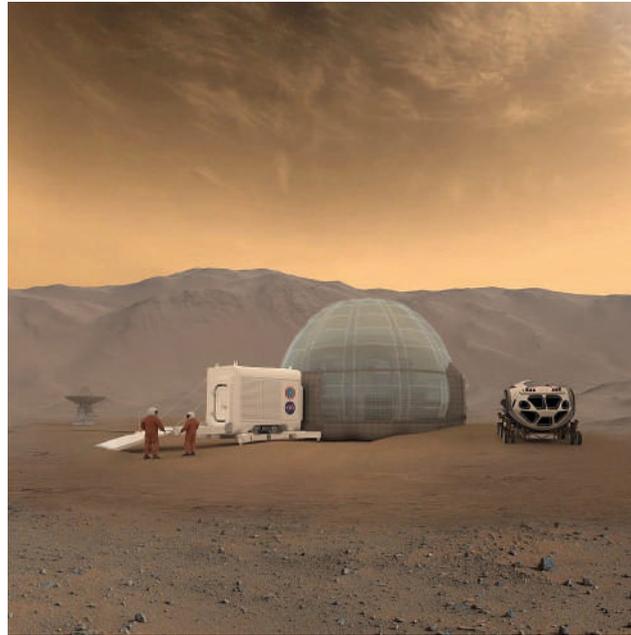


Figura 11. Propuesta de base en Marte. [D]

### 3.3.3 Satélites geoestacionarios pequeños (S-GEO)

Se les denomina Small GEOs a aquellos satélites geoestacionarios que buscan ofrecer el abanico de soluciones propios de esta órbita, principalmente en términos de comunicaciones, pero con una menor masa, lo que se traduce en una disminución de los costos de lanzamiento. El movimiento surge como una respuesta al desarrollo de las tendencias de constelaciones de órbita baja, donde los avances tecnológicos han permitido apuntar a estas propuestas, de las que se encuentran planteamientos en la literatura al menos desde 2008.

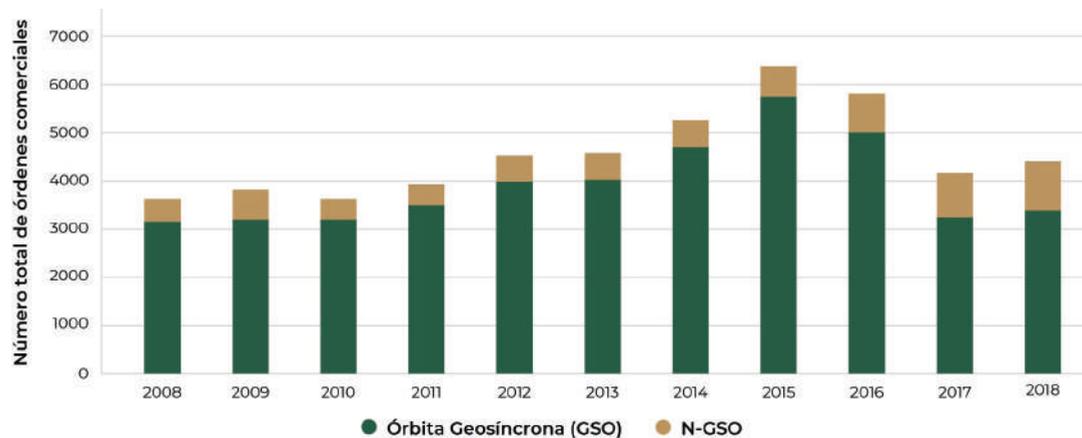


Figura 12. Expedientes ante la UIT de satélites por tipo de órbita. Número total de expedientes por año. [24]

En la figura 12 se aprecia la variación histórica en términos del registro de expedientes ante la UIT de órbitas geoestacionarias.<sup>[24]</sup> Estos expedientes son un indicador de la demanda potencial futura de satélites geoestacionarios. La disminución de los expedientes a partir de 2015 es consistente con la disminución de órdenes de fabricación de satélites geoestacionarios en 2015 (24 órdenes comerciales), 2016 (17 órdenes comerciales) y 2017 (cinco órdenes comerciales). Esta disminución tuvo como consecuencia que 15 empresas de manufactura espacial alrededor del globo con las capacidades para diseñar y producir satélites geoestacionarios comenzaran a diversificarse hacia el mercado de defensa e institucionales.

A pesar de estas cifras, cabe señalar que durante 2019 el mercado repuntó (véase la tabla 12) y los fabricantes registraron más pedidos de satélites comerciales que en años previos.<sup>[23]</sup> Destacan siete satélites en el rango de entre 350 y 3000 kg. Saturn Satellite Networks registró un proyecto que ronda los 1000 kg y destaca la participación de Astranis con el satélite de menor masa, de 350 kg.

**Tabla 12.**

Órdenes de registro de satélites comerciales durante 2019.<sup>[23]</sup>

ORDEN DE SATÉLITE	MASA (KG)	FECHA	TIPO	CLIENTE	MANUFACTURA
<b>ASTRANIS</b>	350	Enero	Comercial	Astranis, utilizado por PDI	Astranis
<b>VIASAT 3 - APAC</b>	6500	Enero	Comercial	Viasat	Boeing
<b>WGS-11*</b>	N/A	Abril	Militar	Departamento de Defensa Estados Unidos	Boeing
<b>SPAINSAT NG1</b>	6100	Mayo	Militar y comercial	Hisdesat	Airbus/TAS
<b>SPAINSAT NG2</b>	6100	Mayo	Militar y comercial	Hisdesat	Airbus/TAS
<b>MEASAT-3d</b>	5700	Mayo	Comercial	Measat	Airbus

<b>GX-7</b>	~3 000	Mayo	Comercial	Inmarsat	Airbus
<b>GX-8</b>	~3 000	Mayo	Comercial	Inmarsat	Airbus
<b>GX-9</b>	~3 000	Mayo	Comercial	Inmarsat	Airbus
<b>SATRIA</b>	N/A	Mayo	Comercial y gubernamental	PSN	Thales Alenia Space
<b>NATIONSAT-1</b>	~1 000	Junio	Comercial	Saturn, utilizado por Intersputnik	Saturn Satellite Networks
<b>ASBM 1**</b>	2 000	Julio	Militar y comercial	Space Norway	Northrop Grumman
<b>ASBM 2**</b>	2 000	Julio	Militar y comercial	Space Norway	Northrop Grumman
<b>ITAL-GOV SATCOM*</b>	N/A	Julio	Militar	Italian Space Agency	Thales Alenia Space
<b>EUTELSAT 10B</b>	5 300	Julio	Comercial	Eutelsat	Thales Alenia Space
<b>SSL-1300</b>	N/A	Noviembre	Comercial	No revelado	Maxar Technologies
<b>NILESAT-301s</b>	4 000	Diciembre	Comercial	Nielsat	Thales Alenia Space

\* Denota adjudicaciones que no fueron abiertas al mercado comercial total.

\*\* Los satélites de la Arctic Satellite Broadband Mission volarán en órbitas altamente elípticas, pero se construirán utilizando la plataforma GEOstar de Northrop Grumman.

Los renglones sombreados destacan los satélites geoestacionarios iguales o menores a 3 000 kg.



### 3.3.4 Equipo terrestre

Durante el ejercicio 2019 el segmento de equipo terrestre alcanzó los 130.3 mil millones de dólares, de los cuales corresponden 17.9 mil millones de dólares a equipos dirigidos al consumidor (antenas receptoras de TV vías satélite, etc), 97.4 mil millones de dólares para equipo de GNSS y 15 mil millones de dólares para equipo de red (VSATs, gateways, etc.). [27]

Los equipos terrestres actualmente enfrentan retos dados en término del incremento de las capacidades satelitales. Hasta ahora había cobrado mayor relevancia el desarrollo tecnológico en términos del segmento satelital, sin embargo, con el cambio tecnológico, la incorporación de nuevos paradigmas y la promesa de satélites que en el tiempo proporcionarán conectividad equivalente a las redes de fibra óptica, [58] se espera que a partir de 2020 el segmento terrestre cobre mayor relevancia, adquiriendo una evolución no vista hasta el momento. [32]

Con el desarrollo del sistema ViaSat-3 se espera acelerar la tendencia enfocada hacia el uso de la nube de internet para algunas funciones de telepuertos en tierra, facilitando la construcción de gateways o puertas de acceso para estaciones terrenas.[62] En este sentido, los servicios en la nube se han vinculado con el sector espacial durante la última década, sin embargo, recientemente cobra relevancia tanto para el segmento satelital como para el segmento terrestre. Se estima que para 2028 este nicho tenga la oportunidad de alcanzar ganancias acumuladas cercanas a 17.7 mil millones de dólares. Desde la perspectiva de internet, la gran variedad de estándares en temas de manufactura y operación satelital suponía una barrera para el crecimiento en la nube a través de servicios satelitales, sin embargo, cuando llegamos al mercado de soluciones, en donde los sistemas satelitales ofrecen soluciones punto a punto, esto deja de ser una problemática mayor. [28]

Algunos estiman que lo que continúa en materia de segmento terrestre involucra las capacidades de virtualización. [21] Destacando los siguientes bloques:

- **Funciones de Red Virtual (VNF):** *Virtual Network Function.*  
Funciones que han sido llevadas a cabo en el dominio análogo y desarrolladas con hardware propietario necesitarán ser virtualizadas o reducir los costos de hardware y aumentar su flexibilidad.
- **Infraestructura como servicio (IaaS):** *Infrastructure-as-a-Service.*  
Es la clave para gestionar servicios y su integración con las telecomunicaciones. Líderes satelitales y operadores de telepuertos



han introducido propuestas para la interacción de soluciones, sin embargo, estas pueden ser mejoradas con una mayor eficiencia en las instalaciones de telepuertos y en los centros de cómputo.

### 3.3.5 Prospectiva y tendencias tecnológicas

En materia de satélites geoestacionarios, se pueden comenzar a señalar las últimas tendencias. El concepto de servicio en órbita fue diseñado originalmente para satélites geoestacionarios; sin embargo, con el lanzamiento de una cantidad considerable de satélites LEO han surgido nuevas aplicaciones. De acuerdo con Northern Sky Research, los satélites geoestacionarios ocupan 25% de la demanda acumulada global de este tipo de servicio. En la tabla 13 se puede encontrar este desglose de actividades o misiones, que van desde la corrección de órbitas una vez que el satélite ha sido lanzado, hasta la recarga de *propelente a bordo*.

**Tabla 13.**

Demanda acumulada global según el tipo de servicio. [29]

DEMANDA GLOBAL ACUMULADA POR SERVICIO	TIPO DE SERVICIO O MISIÓN	ALCANCE DE MISIONES O SERVICIOS PARA GEO
1%	Salvamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrección de órbita post lanzamiento</li> </ul>
10%	Extensión de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicio de remolque para restablecer el mantenimiento de la posición al final de la vida</li> <li>• Operaciones de recarga de insumos para restaurar las desgastadas reservas de propelente, a bordo</li> <li>• En esta categoría hay misiones consideradas de 3 a 5 años</li> </ul>
14%	Reubicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia orbital de GTO a GEO</li> <li>• Transferencia entre diferentes slots orbitales.</li> </ul>
14%	Manipulación robótica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo/diagnóstico/inspecciones cercanas</li> <li>• Reparación/reemplazo/actualización de componentes.</li> </ul>
61%	Desorbitar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios de respaldo para envíos a la órbita de desecho.</li> <li>• Desorbitar/desechar satélites sin funcionamiento.</li> </ul>

El sector espacial también se ve influenciado tanto por su transversalidad como por la de otros paradigmas, lo que se traduce en puntos de conjunción entre el sector espacial y cadenas de valor como cómputo en la nube, 5G, internet de las cosas, big data, donde algunas de estas vinculaciones impactan a nivel de cadena de valor.

## Internet de las cosas y tecnologías 5G

“Internet de las cosas se refiere a la comunicación en tiempo real entre objetos mediante redes de internet, permitiendo recabar datos e información para convertirla en conocimiento”.<sup>[64]</sup> Por su parte, la siguiente generación en tecnología de conectividad móvil, 5G, se convierte en la plataforma capaz de volver una realidad el internet de las cosas.

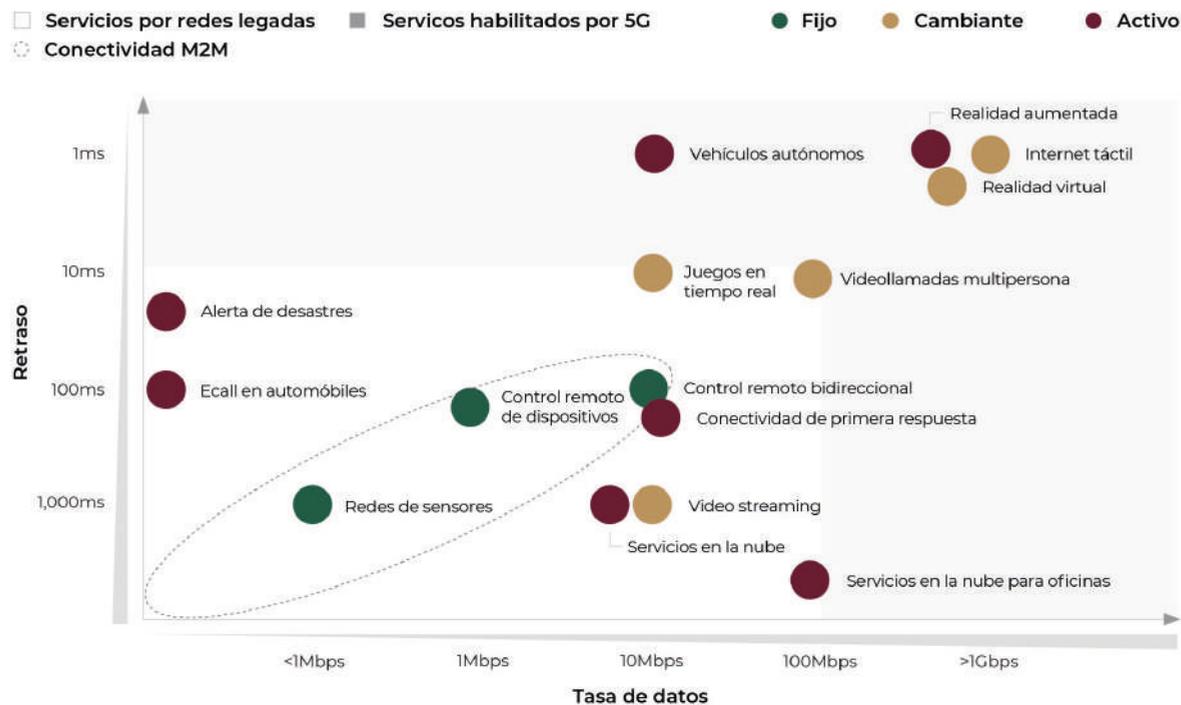
Nos referimos como tecnologías 5G a la quinta generación de tecnologías móviles. Se espera que 5G conecte personas, cosas, datos, aplicaciones, sistemas de transporte y ciudades en ambientes inteligentes sustentados por redes de comunicaciones. De igual modo, se espera que pueda transportar grandes cantidades de datos más rápidamente, conectar de manera confiable un gran número de dispositivos (se estima que para el año 2025 habrá más de 50 000 millones de dispositivos conectados)<sup>[37]</sup> y procesar grandes volúmenes de datos con un retraso mínimo.<sup>[36]</sup>

Las tecnologías 5G se orientarán a tres escenarios principales de uso:<sup>[65]</sup>

- 1. Banda ancha móvil aumentada.** Incluyendo tasas de datos de varios gigabits por segundo para aplicaciones de realidad virtual y la capacidad de soportar el crecimiento extensivo del tráfico de datos.
- 2. Comunicaciones ultraconfiables.** Latencia muy baja (menor a 1 ms) y muy alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad para soportar servicios como vehículos autónomos y salud móvil.
- 3. Comunicaciones masivas de máquina a máquina.** Incluyendo la capacidad de soportar conexiones masivas de IoT a un bajo costo con un muy prolongado tiempo de vida de las baterías y amplia cobertura, aun dentro de edificios.

La tecnología 5G por sí misma permite acceder a tecnologías transversales de difícil alcance (véase la figura 13) incluso para las comunicaciones móviles (en la siguiente imagen las podemos identificar como aquellas tecnologías que aparecen en el área de sombreado

gris). La mayoría de los casos de tecnologías transversales son alcanzables utilizando tecnologías existentes.<sup>[66]</sup>



**Figura 13. Requerimientos de ancho de banda y latencia de casos de uso potenciales para 5G.** <sup>[67]</sup>

La gráfica previa destaca en una línea punteada el área en el que intervienen las comunicaciones máquina-a-máquina, mostrándonos una zona de convergencia entre distintas tecnologías.

Huawei Lab desarrolló una matriz de madurez y potencial de mercados para aplicaciones 5G (véase la figura 14), dentro de los que destacan las aplicaciones de ultra alta definición, premium Cloud VR, que son servicios en la nube, conexiones a dispositivos de IoT para ciudades inteligentes, entre otros.

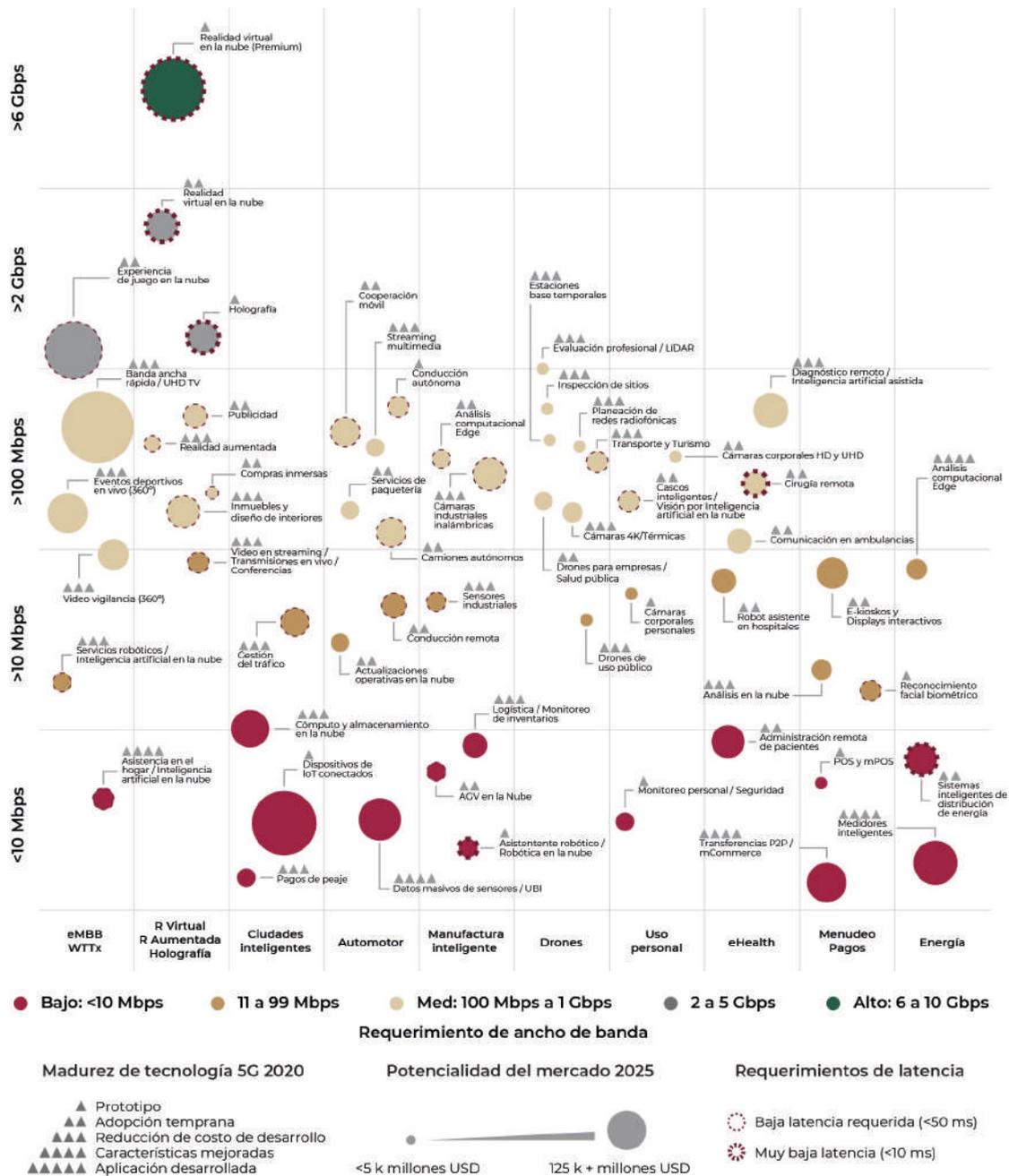


Figura 14. Matriz de madurez y potencial de mercados para aplicaciones 5G Oportunidades de conectividad y de servicios de valor añadido [25]

Este ejercicio, además de mostrar los potenciales de mercado y su nivel de madurez, muestra los sectores verticales en los que cada una de estas tendencias tecnológicas logra converger, proporcionando una visión más clara de en dónde enfocar mayor interés. En estos sectores destacan ciudades inteligentes, energía, ventas y pagos, eSalud, drones, manufactura inteligente, automotriz, realidad virtual, realidad aumentada y hologramas, y banda ancha móvil (eMBB). [25]

## Satélites y 5G

Los satélites cobran relevancia en el ecosistema de cobertura 5G. En principio, son el medio más eficiente para llegar a zonas fuera del alcance de la cobertura terrestre, particularmente sistemas de transporte, como ferroviario, aéreo y marítimo. Esto, combinado con una realidad en donde las expectativas de conectividad de los usuarios son cada vez más altas. Las redes satelitales día con día evolucionan para mantenerse actualizadas en torno a estas expectativas y a las demandas de servicios, lo que ha derivado en el aumento de capacidades, como vimos anteriormente, el establecimiento del rendimiento en el orden de los Tbps, uso de mayor potencia (~30 kW) y de frecuencias más altas, como bandas Q/V, para los enlaces de conexión, lo cual busca dejar libres bandas inferiores del espectro, para los enlaces de servicios, teniendo como consecuencia disminuir el costo por bit de comunicaciones. [45]

La incorporación de satélites como una parte integral del ecosistema 5G añade capacidad de recuperación. En términos de fiabilidad, las bandas de frecuencia más bajas (por ejemplo, banda L) funcionan para aplicaciones de alta fiabilidad, tales como servicios de emergencia. [45]

## México

De acuerdo con la Competitive Intelligence Unit, aun cuando en México las tecnologías 5G ya se encontraban en fase de pruebas, se infiere que los incrementos en la demanda de servicios de internet, consecuencia de la contingencia sanitaria por Covid-19, promoverá que los operadores aceleren el proceso de cambio tecnológico. [35] Actualmente, la banda de 3.4 a 3.6 GHz se encuentra al 50% de su capacidad, pero estos cambios en las demandas pudieran ser una oportunidad sectorial para licitar espectro en esta banda de frecuencia.

Entre los hechos relevantes se encuentra una sesión de 50MHz de la banda de 3.5 GHz de Telmex a Telcel, y las acciones de AT&T sobre la “anticipación de recursos de inversión por 91 millones de dólares... para asegurar sus derechos en las bandas útiles del 5G” [35], prospectando hacia el futuro. En este sentido, Huawei presentó su plan de inversiones para México en materia de 5G.

En relación con lo anterior, el Instituto Federal de Telecomunicaciones realizó una consulta pública en 2019 acerca de este tema, misma que concluyó en el mes de octubre, a fin de iniciar el proceso de preparativos para la licitación de frecuencias para 5G. [35]



Starlink  
Fuente: SpaceX

# CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA DE TELECOMUNICACIONES

# IV.

## CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA DE TELECOMUNICACIONES

La economía espacial mundial, que consiste en ingresos de la industria privada y los presupuestos gubernamentales, representó 366 mil millones de dólares en 2019. Alrededor de 271 mil millones (74%) fueron ingresos generados por compañías que brindan servicios como televisión; comunicación móvil, fija y de banda ancha; teledetección; sistemas de satélite y tierra, y fabricación y venta de equipos. De ese universo, el servicio de banda ancha representa cerca de 2.8 mil millones de dólares, los servicios móviles 2 mil millones de dólares y los servicios fijos 17.7 mil millones de dólares como se muestra en la figura 15. [68]

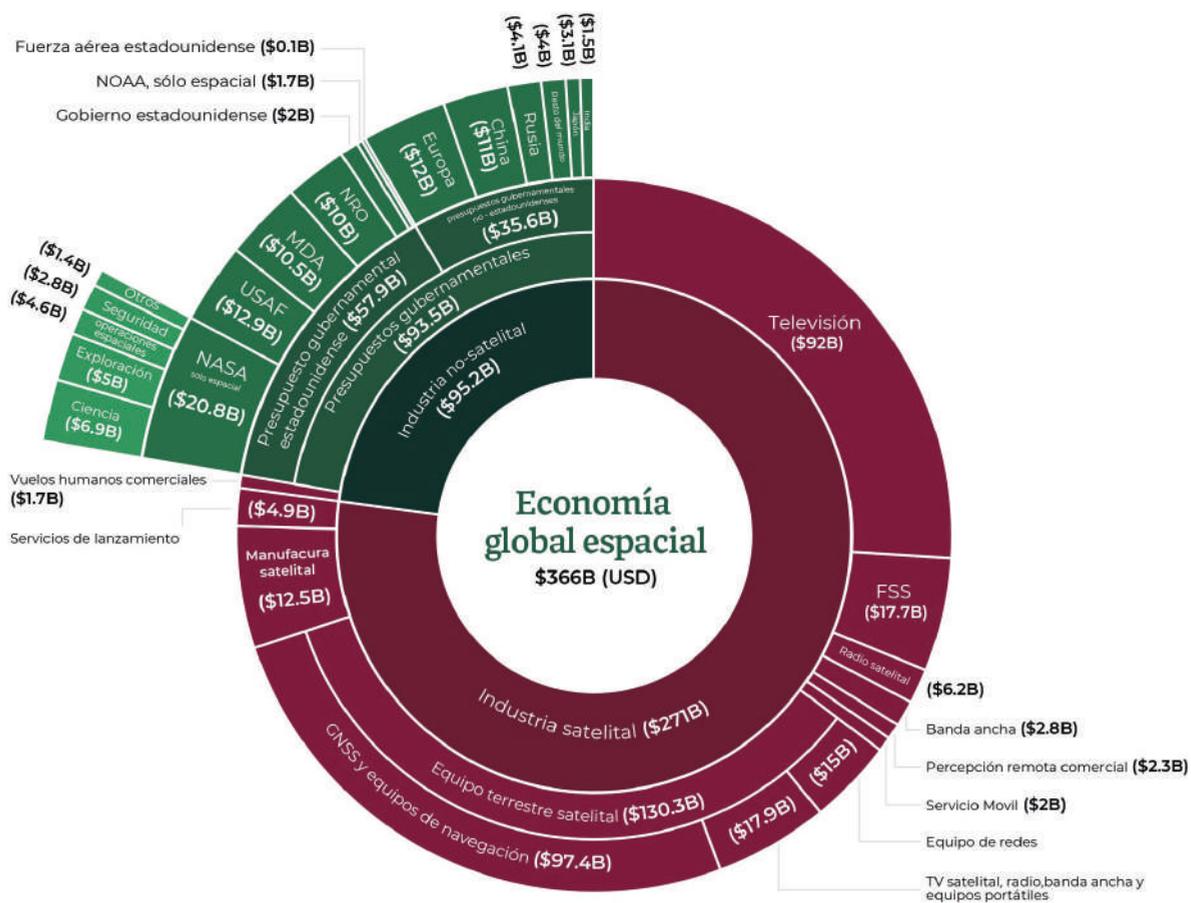


Figura 15. Economía global del espacio 2019. (Fuente: Bryce Space and technology). [68]

De acuerdo con el proyecto de norma mexicana NMX-AE-001-SCFI-2018, la clasificación de los satélites en función de su masa es como se muestra en la tabla 14, y que, para fines de este estudio, sirve como marco de referencia para establecer el mercado al cual está dirigida la demanda de servicios de comunicaciones asistidos por constelaciones de órbita baja.

**Tabla 14.**

Clasificación de los satélites en función de su masa. [69]

CLASIFICACIÓN	INTERVALO DE MASAS [KG]
Satélites extra pesados	>7001
Satélites pesados	5401-7000
Satélites grandes	4201-5400
Satélites intermedios	2501-4200
Satélites medianos	1201-2500
Satélites pequeños	601-1200
Minisatélites	201 - 600
Microsatélites	11 - 200
Nanosatélites	1.1 - 10
Picosatélites	0.1 - 1
Femtosatélites	0.001 - 0.09

Desde que Sir Arthur C. Clarke predijo y popularizó las comunicaciones por satélite geoestacionarias en 1945, la imaginación del mundo ha sido capturada por la idea de la comunicación global instantánea desde el espacio.

En los años posteriores, múltiples generaciones de satélites de comunicaciones, comenzando con Telstar, Intelsat y otros en la década de 1960, han hecho realidad su predicción. Actualmente, las empresas están desplegando “megaconstelaciones” de cientos o miles de satélites conectados entre sí, así como estaciones terrestres.

Tanto los gigantes aeroespaciales tradicionales como las empresas de tecnología más recientes están ingresando al mercado, financiando, desarrollando y desplegando megaconstelaciones con el objetivo de llevar al mundo acceso a internet de alta velocidad a precios asequibles.

El motivo del beneficio es lo suficientemente claro. Conectar a aquellos en áreas actualmente desatendidas o poco atendidas puede crear



millones de nuevos clientes y habilitar nuevos modelos de negocio. En términos de su número, el mercado potencial es vasto. Aun cuando se han logrado grandes avances en la conexión del mundo, las estadísticas muestran que muchas personas aún están desconectadas o con deficiente acceso. La Unión Internacional de Telecomunicaciones indica que solo alrededor de 53.6% de la población mundial estaba usando internet a finales de 2019. [90]

Hay muchas personas para conectar y muchos ingresos potenciales para las empresas que puedan conectarlos. Morgan Stanley estima que el mercado de banda ancha satelital podría valer hasta \$400 mil millones de dólares para 2040. [70]

## 4.1 Antecedentes

Si bien es cierto que México no ha participado directamente en el pasado en la conformación de una constelación de satélites para el servicio de telecomunicaciones, se pueden mencionar algunos ejemplos a nivel internacional de constelaciones funcionales, tal como lo demuestra la empresa ORBCOMM, la cual entre 1995 y 1999 desplegó 35 satélites en banda estrecha<sup>2</sup>, de los cuales la mayoría todavía están en funcionamiento. Es la única compañía que ha implementado un sistema que proporciona servicios de paquetes de bajo ancho de banda en todo el mundo. ORBCOMM se centra en proporcionar servicios de datos para aplicaciones M2M. [71]

El reemplazo de la constelación de ORBCOMM se ha completado en años recientes con seis satélites de la segunda generación con un peso aproximado de 142 kg (OG2), que fueron lanzados a bordo del Falcon 9 de SpaceX en 2014, y ocho más fueron lanzados, también por un Falcon 9, en 2015. Todos los satélites incluyen como carga útil sistemas de identificación automática (AIS). Los satélites OG2 fueron construidos por Sierra Nevada Corporation, como subcontratistas de Boeing e ITT Corporation. Los ingresos de ORBCOMM crecieron de 178.3 millones de dólares en 2015 a 186.7 millones de dólares en 2016.

[71]

Otro antecedente en los sistemas de constelaciones lo tenemos en Teledesic, que fue un sistema de satélites LEO de comunicaciones. Se basó en el sistema Iridium pero destinado a usuarios de internet de banda ancha. Fue concebida por Craig McCraw en 1990, pionero de la telefonía móvil. En sus inicios, la meta del sistema Teledesic fue ofrecer a millones de usuarios concurrentes internet en un enlace ascendente de hasta 100 Mbps y un enlace descendente de hasta

720 Mbps mediante antenas pequeñas y fijas de tipo VSAT, ignorando por completo el sistema telefónico. El diseño original consistía en un sistema de 288 satélites de huella pequeña ubicados a una altura de 1350 km. Luego se modificó el diseño a 30 satélites con huellas más grandes. La transmisión se realizaría en banda Ka, relativamente poco saturada y de gran ancho de banda. Además, se utilizaría un sistema de conmutación de paquetes en el espacio, en el cual cada satélite estaría equipado para enrutar paquetes a sus satélites vecinos. Se planeó para entrar en servicio a inicios de 2002 y el costo total del proyecto se estimaba en 9 mil millones de dólares.

Un satélite de demostración para la constelación de Teledesic, originalmente denominado Broadband Advanced Technologies Satellite (BATSAT), y luego renombrado Teledesic T1 o simplemente T1 (COSPAR ID 1998-012B), fue lanzado desde la Base Vandenberg de la Fuerza Aérea mediante un vehículo lanzador Pegasus-XL el 26 de febrero de 1998 a las 07:07:00 UTC. El satélite difirió en tamaño y diseño del satélite previsto para la constelación final, pero fue diseñado para soportar comunicaciones bidireccionales a velocidades de hasta E1 en la banda de 28.6 a 29.1 GHz. El satélite de 120 kg se colocó en una órbita elíptica de 535 km × 580 km con una inclinación de 97.7 ° y un periodo de 95.8 minutos. Fue el primer satélite en banda Ka en órbita propiedad de una empresa comercial. El satélite decayó de la órbita el 9 de octubre de 2000. La falla comercial de las empresas similares como Iridium y Globalstar (compuestas por 66 y 48 satélites operativos, respectivamente) y otros sistemas, junto con las solicitudes de protección por bancarrota, fueron factores primarios para detener el proyecto, y Teledesic suspendió oficialmente su trabajo de construcción satelital el 1 de octubre de 2002. [72]

También ha habido algunos famosos falsos comienzos como, por ejemplo, la constelación Iridium LEO de 66 satélites activos (desplegados inicialmente a finales de la década de 1990 y principios de la década de 2000 para proporcionar servicios globales de voz y datos), nunca ganó la base de suscriptores para que fuera comercialmente exitosa, aunque eventualmente encontró un nicho de mercado y continúa operando hoy usando una nueva generación de satélites (Iridium NEXT).[70]

Otro ejemplo es el proyecto Globalstar, que se lanzó en 1991 como una empresa conjunta de Loral Corporation y Qualcomm. El 24 de marzo de 1994 los dos patrocinadores anunciaron la formación de Globalstar LP, una sociedad limitada establecida en los Estados Unidos, con la participación financiera de otras ocho empresas, incluidas Alcatel, AirTouch, Deutsche Aerospace, Hyundai y Vodafone. En ese momento,

la compañía predijo que el sistema se lanzaría en 1998, con una inversión de 1.8 mil millones de dólares. [91]

Los primeros satélites se lanzaron en febrero de 1998, pero el despliegue del sistema se retrasó debido a una falla en el lanzamiento en septiembre de 1998 que resultó en la pérdida de 12 satélites en un lanzamiento de la Agencia Espacial Rusa. En octubre de 1999 el sistema inició pruebas de “uso amigable” con 44 de los 48 satélites previstos. En diciembre de 1999 el sistema inició un servicio comercial limitado para 200 usuarios con los 48 satélites completos (sin repuestos en órbita). En febrero de 2000 inició el servicio comercial completo con sus 48 satélites y cuatro repuestos en Norteamérica, Europa y Brasil. Los precios iniciales fueron 1.79 USD / minuto. [91]

Posteriormente, el 15 de febrero de 2002 la empresa predecesora Globalstar (antigua Globalstar) y tres de sus subsidiarias presentaron peticiones voluntarias bajo el Capítulo 11 del Código de Quiebras de los Estados Unidos. [91]

En 2004 se completó la reestructuración del antiguo Globalstar. La primera etapa de la reestructuración se completó el 5 de diciembre de 2003, cuando se consideró que Thermo Capital Partners LLC obtendría el control operativo del negocio, así como ciertos derechos de propiedad y riesgos. Thermo Capital Partners se convirtió en el principal propietario. Globalstar LLC se formó como una sociedad de responsabilidad limitada de Delaware en noviembre de 2003 y se convirtió en Globalstar, Inc., el 17 de marzo de 2006. [91]

En 2007 Globalstar lanzó ocho satélites adicionales de repuesto de primera generación al espacio para ayudar a compensar la falla prematura de sus satélites en órbita. Entre 2010 y 2013 Globalstar lanzó 24 satélites de segunda generación en un esfuerzo por restaurar su sistema al servicio completo. En abril de 2018 Globalstar anunció que se fusionaría con FiberLight en un acuerdo valorado en 1.65 mil millones de dólares. [91]

En marzo de 2020 Globalstar anunció que el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (“3GPP”) había aprobado la variante 5G de la Banda 53 de Globalstar, que se conocería como n53. [91]

## 4.2 Situación actual

El desarrollo espacial en el mundo prevé en los próximos años un crecimiento en el número de lanzamientos que abarcan desde los femtosatélites hasta minisatélites. Según la empresa consultora SpaceWorks, en su última investigación titulada “Nano y Microsatélites - Previsión del mercado 2020”, se estima que hacia 2025 habrá una demanda acumulada de lanzamientos para al menos unos 1800 a 2400 objetos con un peso entre 1 y 50 kg. De ese universo se espera una participación de satélites comerciales de 70%. De igual forma se indica que aproximadamente 45% de los nano y microsatélites se emplearán para actividades de observación remota de la Tierra, así como para propósitos de detección. Se espera un incremento de 7% a 19% en la participación del segmento de comunicaciones. [73]

Durante 2019 se lanzaron un total de 189 nano/microsatélites, lo que representó una disminución de 25% en comparación con el año 2018. [73]

En cuanto a la tendencia del peso de los nanosatélites de entre 1 y 10 kg se espera que exista una reducción en el empleo de CubeSats de 1 a 3 kg, y por el contrario un incremento en el intervalo de satélites cuyo peso oscile entre los 7 y 10 kg, lo que representa aproximadamente 35% de dicha muestra. Así pues, los microsatélites y los nanosatélites mas grandes (6U +) están ganando popularidad a medida que los operadores buscan lograr el equilibrio entre costo y capacidad. [73]

Después de un aumento masivo en 2018, los operadores de comunicaciones estuvieron notablemente ausentes en 2019, lo que generó preguntas sobre su papel en el futuro del mercado, quizás en parte porque muchos de ellos realizaron rondas de recaudación de fondos después de sus demostraciones iniciales de tecnología. [73]

Por su parte, BRYCE Space and Technology, en su estudio titulado “Pequeños satélites en números 2020”, recopila la información correspondiente a los satélites lanzados en los recientes años en un intervalo de 0.001 kg a 600 kg, en el periodo que comprende de 2012 a 2019 (véase la figura 16). [74]

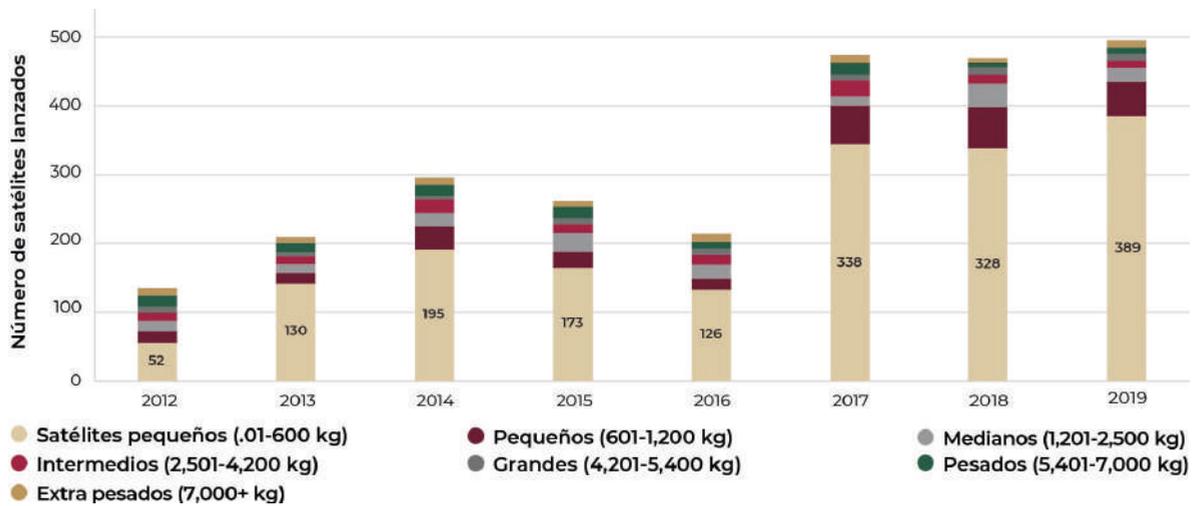


Figura 16. Número total de satélites lanzados desde 2012 a 2019 [74]

De acuerdo con sus datos se estima que tan solo en 2019 fueron lanzados 389 satélites pequeños, de los cuales se destaca que 52% de estos pequeños satélites ofrecieron servicios comerciales. De igual forma este estudio menciona que se ha incrementado 11 veces en proporción la masa representada por los pequeños satélites durante los últimos siete años. [74] Dentro del rubro de la distribución de los satélites pequeños de acuerdo con su masa, se observa que hay un incremento en el empleo de los femto (3%) y minisatélites (37%) y se confirma la reducción en las demás subclasificaciones tales como pico (6%), nano (38%) y micros satélites (16%) para 2019 en comparación con el año anterior (véase la figura 17). [74]

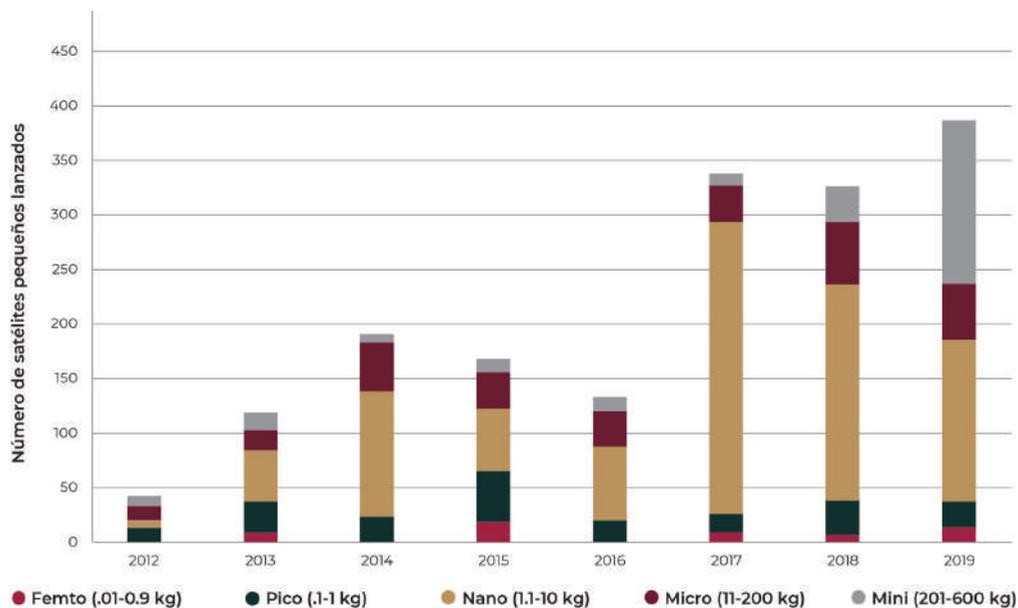


Figura 17. Número total de satélites pequeños lanzados de 2012 a 2019 de acuerdo con su masa. [74]

Como se puede observar, en estudios recientes se muestra el incremento en el despliegue de satélites pequeños de los cuales la mayoría están diseñados para misiones de observación de teledetección (26%), otro tanto se prepara para actividades comerciales como telecomunicaciones (38%) y un número más reducido en pruebas para el desarrollo de tecnología (32%)(véase la figura 18).<sup>[74]</sup>

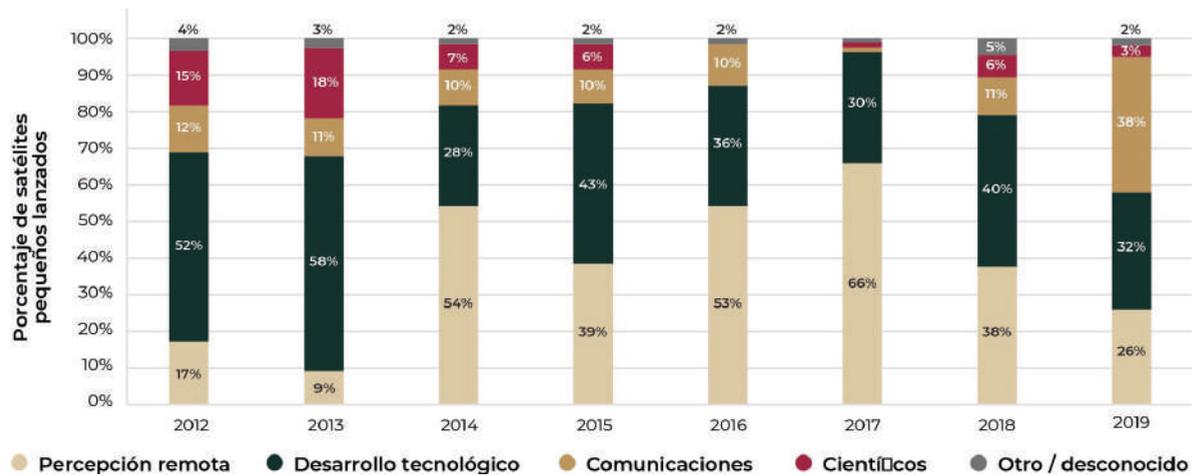


Figura 18. Todos los satélites pequeños lanzados de 2012 a 2019 clasificados por aplicación. <sup>[74]</sup>

La Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos señala en su reporte titulado Compendio Anual de Transporte Espacial Comercial: 2018 algunos de los datos relevantes en cuanto al mercado del transporte espacial comercial de cargas útiles pequeñas a órbitas bajas (LEO, por sus siglas en inglés).<sup>1</sup> El mercado de servicios satelitales en general es sólido, y las nuevas opciones de vehículos de lanzamiento afectarán la dinámica de la industria del lanzamiento. Se espera que la demanda de lanzamientos de cargas útiles comerciales a órbitas bajas se incremente, toda vez que las nuevas constelaciones de telecomunicaciones están siendo planeadas para operar en estas órbitas y se prevé renovar paulatinamente los servicios existentes. <sup>[71]</sup> En la figura 18 se muestra la clasificación de los satélites pequeños lanzados entre 2012 y 2019 de

<sup>1</sup> Las órbitas terrestres bajas (LEO) oscilan entre 160 km a 2400 km sobre la superficie media de la Tierra, variando entre una inclinación de cero grados para cobertura ecuatorial y una inclinación de 101 grados para una cobertura global.<sup>[69]</sup>

acuerdo con el tipo de operador. Se destaca que la actividad comercial sigue siendo la principal, seguida de la académica. [74]

La idea de proporcionar internet desde el espacio utilizando grandes constelaciones de satélites LEO ha vuelto a ganar popularidad en los últimos años. A pesar de los reveses sufridos por los proyectos propuestos en la década de los noventa, una nueva ola de propuestas para grandes constelaciones de satélites de órbita terrestre baja (LEO) para proporcionar banda ancha global surgió entre 2014 y 2016. Un total de 11 empresas han solicitado a la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos desplegar grandes constelaciones en órbitas satelitales no geoestacionarias (NGEO) como un medio para proporcionar servicios de banda ancha. Estos nuevos diseños van desde dos satélites, según lo propuesto por Space Norway, hasta 4 425 satélites, según lo propuesto por SpaceX. Debido a la gran cantidad de satélites en estas constelaciones, se acuñó el nombre de "megaconstelaciones" para referirse a estas nuevas propuestas.

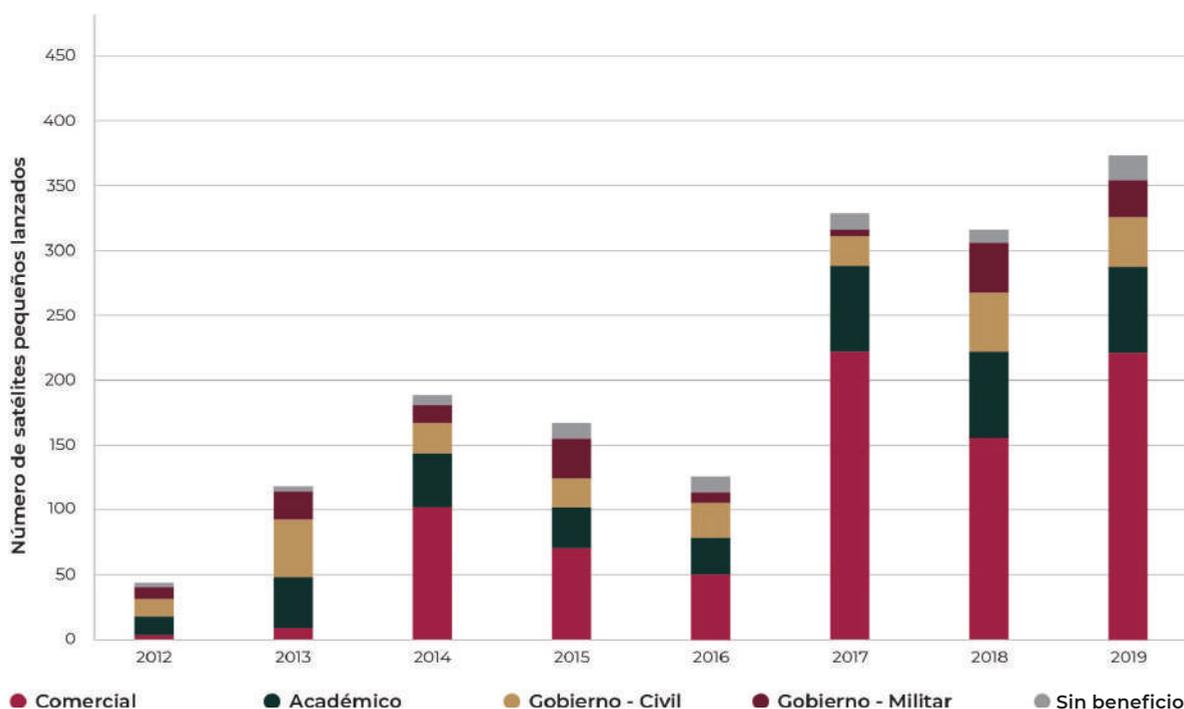


Figura 19. Todos los satélites pequeños lanzados desde 2012 a 2019 clasificados por tipo de operador. [74]

En comparación con sus predecesores (por ejemplo, Iridium, Globalstar, Orbcomm), las principales diferencias de estos sistemas de telecomunicaciones son: mayor rendimiento que resulta del uso de cargas de comunicación digital, esquemas de modulación avanzados, antenas multihaz y esquemas de reutilización de frecuencia más sofisticados,

así como las reducciones de costos de los procesos de fabricación avanzados (como la línea de montaje, pruebas altamente automatizadas y continuas) y costos de lanzamiento reducidos.

Los proveedores de servicio de banda ancha satelital buscan evitar el destino de sus antecesores ofreciendo velocidades más altas, latencia más baja y precios más baratos para los usuarios. Para ello están siendo ayudados en estos esfuerzos por tres habilitadores principales:

- 1. Entrar en órbita se ha vuelto menos costoso.** Los costos de lanzamiento y construcción de satélites han disminuido dramáticamente en las últimas dos décadas, propiciado en parte por las nuevas empresas que ofrecen los servicios. Entre 1970 y 2000 el costo promedio de lanzar un objeto a la órbita fue de aproximadamente 18500 dólares por kilogramo. Con el advenimiento de nuevos proveedores de lanzamiento como SpaceX y otros, las compañías ahora pueden poner en órbita un kilo por aproximadamente 2720 dólares, o alrededor de 85% menos. Igualmente importante para mejorar la economía de lanzamiento es el hecho de que los satélites actuales pesan menos. Por ejemplo, los satélites Iridium originales lanzados a finales de la década de 1990 pesaban 689 kilogramos cada uno, mientras que los satélites Starlink de hoy (de SpaceX) pesan solo 227 kilogramos.<sup>[70]</sup>
- 2. Los satélites y sus métodos de fabricación son cada vez más avanzados.** Las constelaciones que contienen cientos o miles de satélites individuales no podrían construirse en un plazo razonable o a un costo razonable sin producción en masa. Como parte de este enfoque, las empresas están utilizando un diseño modular para estos satélites individuales, construyéndolos en plataformas estandarizadas y utilizando componentes más pequeños y avanzados. Muchos también están utilizando sistemas de propulsión eléctrica que tienen un peso reducido y un menor costo. Ahora hay fábricas de satélites dedicadas para muchas de estas megaconstelaciones, lo que permite la rentabilidad y la velocidad a través de la producción en masa: por ejemplo, OneWeb Satellites, una empresa conjunta entre Airbus y OneWeb, tiene como objetivo producir dos satélites por día.<sup>[70]</sup>
- 3. La demanda de conectividad ha aumentado.** Además de las miles de millones de personas desatendidas y/o con problemas de conectividad en las áreas remotas o menos desarrolladas del mundo, la demanda también está siendo impulsada por las crecientes expectativas. Las nuevas tecnologías han hecho que sea cada vez más fácil estar conectado. A medida que esta

capacidad se ha extendido, los consumidores, las empresas y los gobiernos ahora esperan poder mantenerse comunicados sin importar dónde se encuentren: en áreas aisladas y rurales, en el mar, en el aire o en cualquier lugar intermedio. [70]

La pregunta clave es: ¿Qué compañías pueden demostrar sus capacidades y obtener la mayor participación de mercado más rápido? Algunos de los principales jugadores son:

### Sistema OneWeb

Ejemplo de estos esfuerzos y tendencias comerciales es el proyecto OneWeb, cuyo objetivo es llevar internet con una velocidad de 200 Mbps a todo el mundo, mediante una constelación de 720 satélites (cada uno con un peso máximo de 150kg) ubicados en 18 planos orbitales circulares a una altitud de 1200 km, cada plano con una inclinación de  $87^\circ$  (órbita polar). [75] Para llevar a cabo dicho proyecto se ha planeado desplegarlos mediante lanzadores como Soyuz-2 y LauncherOne, este último considerado como un vehículo lanzador para órbitas bajas. [71]



Figura 20. Configuración de la constelación para el sistema OneWeb. [76]

Cada satélite tendrá una carga útil tipo bent-pipe con 16 haces idénticos, no orientables y altamente elípticos. La huella de estos haces garantiza que cualquier usuario estará dentro de la línea de visión de al menos un satélite con un ángulo de elevación superior a 55 grados. Además, cada satélite tendrá dos antenas de puerta de

enlace orientables, una de las cuales estará activa, mientras que la otra actuará como una antena de respaldo y transferencia. Cada haz de usuario tendrá un solo canal en la banda Ku, que se asignará a un canal en la banda Ka. Los canales en la dirección de retorno tendrán un ancho de banda de 125 MHz, mientras que aquellos en la dirección de subida tendrán un ancho de banda de 250 MHz.<sup>[76]</sup>

El sistema de OneWeb emplea la banda Ku para las comunicaciones del usuario en particular, las bandas de 10.7-12.7 y 12.75-14.5 GHz se utilizarán para las comunicaciones de enlace descendente y ascendente, respectivamente. Mientras que para las comunicaciones de puerta de enlace se empleará la banda Ka, específicamente 17.8-20.2 GHz para el segmento descendente y 27.5-30.0 GHz para el enlace ascendente.<sup>[76]</sup>

Se prevé que el segmento terrestre constituya 50 o más estaciones terrenas de puerta de enlace, con hasta 10 antenas de 2.4 m de diámetro cada una. Del lado del usuario, el sistema OneWeb fue diseñado para operar con antenas parabólicas de 30-75 cm y otras antenas de direccionamiento electrónico. Debido a que los satélites no utilizan enlaces entre satélites, los servicios solo se pueden ofrecer en regiones donde los usuarios y una estación terrestre están simultáneamente dentro de la línea de visión del satélite.<sup>[76]</sup>

Es importante mencionar que el empresario mexicano Ricardo Salinas Pliego, junto con Airbus, Qualcomm, Intelsat, Coca-Cola, Bharti Enterprise, el operador satelital Hughes Communications y SoftBank han invertido alrededor de 3.4 mil millones de dólares en el desarrollo de este sistema satelital para consolidar el capital inicial para los primeros satélites.<sup>[77]</sup> Aunque la idea es llevar internet fijo a lugares donde no existe, como zonas montañosas del territorio mexicano (escuelas que carecen del acceso en comunidades alejadas), la intención es que también pueda llevar la conectividad a trenes, barcos y aviones, ya que los satélites en órbita baja experimentan poca o nula latencia (retardo en respuesta de conexión).<sup>[78]</sup>

OneWeb planea abrir oficialmente sus negocios en 2021, vendiendo servicios a gobiernos y clientes corporativos que brindan servicio de internet a aviones, barcos y embarcaciones. Finalmente, la compañía venderá ancho de banda a proveedores de internet de consumo, como Comcast y Verizon.<sup>[79]</sup>

El manifiesto actual de lanzamientos ha sido el que se muestra en la tabla 15.

**Tabla 15.**

Manifiesto de lanzamientos de la Constelación OneWeb. [80]

MISIÓN	FECHA	SITIO DE LANZAMIENTO	VEHÍCULO LANZADOR	SATÉLITES DESPLEGADOS	ESTADO
1	27 de febrero de 2019	Kourou, ELS	Soyuz ST-B/ Fregat-M	6 (satélites de prueba)	Exitoso
2	6 de Febrero de 2020	Baikonur, Site 31/6	Soyuz-2.1b / Fregat-M	34	Exitoso
3	21 de Marzo de 2020	Baikonur, Site 31/6	Soyuz-2.1b / Fregat-M	34	Exitoso
4	Por confirmar	Kourou, ELS	Soyuz ST-B/ Fregat-M	36	Planeado

Los satélites de OneWeb, construidos en Merritt Island, Florida, a través de una empresa conjunta con Airbus Defence and Space, terminaron costando un millón de dólares cada uno, el doble de lo que OneWeb había esperado. Roger Rusch, presidente de la firma de consultoría satelital TelAstra, mencionó que OneWeb probablemente necesite 7.5 mil millones de dólares para completar su constelación.

[81] Qualcomm proporcionará estaciones base para usuarios; Hughes Network Systems proporcionará el equipo de puerta de enlace.

Hasta el 21 de marzo de 2020, Oneweb cuenta en su flota con 74 satélites, aseguró un valioso espectro global, comenzó el desarrollo en una gama de terminales de usuario para una variedad de mercados de clientes, completó o desarrolló la mitad de sus 44 estaciones terrestres, y ha llevado a cabo demostraciones exitosas de su sistema con velocidades de banda ancha superiores a 400 Mbps y latencia de 32 ms. [82]

De manera inicial se pensaba contar con 300 satélites para finales de 2020, e incrementar la flota a 588 para 2021. OneWeb tiene contratos con Arianespace para 22 lanzamientos, de los cuales tres han ocurrido, contando la última misión de marzo de 2020. La compañía tenía nueve misiones más planeadas para 2020, aunque ese calendario se ha visto afectado por la pandemia de coronavirus. Tres de esas misiones, dos Soyuz y el primer vuelo Ariane 6, se mantienen suspendidas, toda vez que Arianespace mencionó el pasado 16 de marzo de 2020 que estaba interrumpiendo los lanzamientos desde la Guayana

Francesa luego del llamado del gobierno francés para limitar las actividades no esenciales para frenar la pandemia de Covid-19. [83]

La Compañía presentó el 27 de marzo de 2020 una serie de mociones ante el Tribunal de Quiebras de los Estados Unidos para solicitar autorización para respaldar sus operaciones en curso durante el proceso del Capítulo 11, incluida la aprobación para el uso consensuado de su garantía real en efectivo para continuar financiando el negocio.[82]

El 3 de julio de 2020 un consorcio encabezado por el gobierno nacional británico y Bharti Global ganaron la subasta para comprar la empresa en quiebra, por un valor de 1000 millones de dólares.[92]

De acuerdo con la FCC, el gobierno británico y Bharti Global tendrán cada uno una participación de 42.2%. Mientras que SoftBank, un inversor líder en OneWeb antes de la presentación del Capítulo 11, tendrá una participación de 12.3%. Así mismo, Hughes Network Systems, que poseía 2.6% de OneWeb antes de la presentación del Capítulo 11, anunció en julio que invertirá 50 millones de dólares en la empresa reorganizada. El aviso de la FCC establece que los términos de esa inversión aún no se han finalizado, pero que no tendrá un “impacto significativo” en las participaciones de propiedad del gobierno británico y Bharti Global. [93]

OneWeb reiniciará sus lanzamientos de satélites en 2021 y se extenderán hasta 2022. Según la empresa, la estimación es comenzar a ofrecer servicios comerciales de conectividad en el Reino Unido y la región del Ártico a finales de 2021. Los servicios al resto de las regiones comenzarán en 2022. Además, la fábrica operada de forma conjunta con Airbus en Florida reiniciará sus actividades.[94]

## Sistema Starlink

Por otro lado, SpaceX presentó en 2015 a los reguladores internacionales la documentación para una constelación de 4000 satélites (Starlink) para brindar servicios de internet de banda ancha, con la intención de comenzar a brindar servicios dentro de los siguientes cinco años. En 2016 SpaceX siguió con una aplicación dentro de la FCC de los Estados Unidos para una constelación LEO de 4 425 satélites en múltiples planos orbitales en varias “altitudes” 4.

Se espera que la constelación proporcione cobertura mundial de internet en frecuencias dentro de las bandas Ka y Ku, además de comunicación

vía óptica para enlaces entre satélites. SpaceX declaró que esperaba desplegar todos estos satélites entre 2019 y 2025, sin detalles sobre los arreglos de lanzamiento disponibles.<sup>[71]</sup> Los satélites están distribuidos a través de varios conjuntos de órbitas. La constelación central, que se desplegará primero, está compuesta por 1600 satélites distribuidos uniformemente en 32 planos orbitales a 1150 km, con una inclinación de 53° (azul). Los otros 2825 satélites seguirán en un despliegue secundario, y se distribuirán de la siguiente manera:

- Un conjunto de 32 planos con 50 satélites a 1110 km y una inclinación de 53.8° (naranja);
- Un conjunto de 8 planos orbitales con 50 satélites cada uno en 1130 km y una inclinación de 74° (magenta);
- Un conjunto de 5 planos con 75 satélites cada uno a 1275 km y una inclinación de 81° (negro);
- Un conjunto de 6 planos orbitales con 75 satélites cada uno a 1325 km y una inclinación de 70° (amarillo).

La figura 21 muestra el patrón de la megaconstelación Starlink de SpaceX.<sup>[76]</sup>

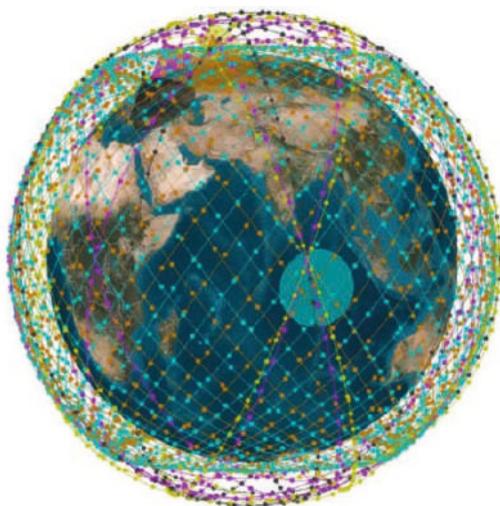


Figura 21. Configuración de la constelación para el sistema Starlink.<sup>[76]</sup>

Cada satélite llevará a bordo una carga útil digital avanzada que contiene una matriz o arreglo en fase, que permitirá que cada uno de los haces sea dirigido y modificado en su forma de manera individual. El ángulo de elevación mínimo para una terminal de usuario es de 40°, mientras que el rendimiento total por satélite se prevé que sea de 17-23 Gbps, dependiendo de las características de las

terminales de usuario. Además, los satélites también tendrán enlaces ópticos entre ellos para garantizar comunicaciones continuas, ofrecer servicios sobre el mar y mitigar los efectos de la interferencia.<sup>[76]</sup>

El segmento terrestre estará compuesto por tres tipos diferentes de elementos:

- Estaciones de seguimiento, telemetría y comandos (TT&C)
- Antenas de puertas de enlace
- Terminales de usuario.

Por un lado, las estaciones TT&C serán escasas en número y estarán distribuidas por todo el mundo, se sabe que dichas antenas tendrán 5 m de diámetro. En tanto que las puertas de enlace, como las terminales de usuario, se basarán en la tecnología de matriz o arreglo de fase. SpaceX planea tener una gran cantidad de antenas de puerta de enlace, distribuidas en todo el mundo cerca o ubicadas conjuntamente con puntos de interconexión de internet. El sistema de SpaceX utilizará la banda Ku para las comunicaciones del usuario, y las comunicaciones de la puerta de enlace se llevarán a cabo en la banda Ka. En particular, las bandas de 10.7-12.7 GHz y 14.0-14.5 GHz se utilizarán para las comunicaciones de usuario de enlace descendente y ascendente, respectivamente, mientras que las bandas de 17.8-19.3 GHz y 27.5-30.0 GHz se utilizarán para las comunicaciones de enlace descendente y ascendente, respectivamente. <sup>[76]</sup>

En marzo de 2018 la FCC aceptó la aplicación de SpaceX para llegar a los clientes de Estados Unidos con una megaconstelación de 4 425 satélites de banda ancha, pero negaron la solicitud de la compañía de que se relaje la fecha límite en que debe estar toda su constelación en órbita. La FCC también dijo que la aprobación de SpaceX está condicionada a un plan de órbita actualizado, ya que la gran cantidad de satélites visualizados por la constelación va mucho más allá de lo que las directrices actuales consideran manejables.<sup>[83]</sup>

SpaceX está utilizando una estrategia de fabricación interna, con la mayoría de las partes de la plataforma del satélite desarrolladas internamente. Las tareas de integración, montaje y prueba también se realizarán en sus instalaciones. A pesar de que no ha proporcionado información sobre las perspectivas de financiación para su constelación, una reciente ronda de financiación de un mil millones de dólares ha incluido a las compañías Google y Fidelity. <sup>[76]</sup>

El manifiesto actual de lanzamientos es el que se muestra en la tabla 16.

**Tabla 16.**

Manifiesto de lanzamientos de la Constelación Starlink. [95]

MISIÓN	FECHA	SITIO DE LANZAMIENTO	VEHÍCULO LANZADOR	SATÉLITES DESPLEGADOS	ESTADO
1	22 de febrero de 2018	Vandenberg LC-4E	Falcon 9	2	Exitoso
2	24 de mayo de 2019	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
3	11 de noviembre de 2019	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
4	7 de enero de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
5	29 de enero de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
6	17 de febrero de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
7	18 de marzo de 2020	Cabo Cañaveral CEK LC-39A	Falcon 9	60	Exitoso
8	22 de abril de 2020	Cabo Cañaveral CEK LC-39A	Falcon 9	60	Exitoso
9	4 de junio de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
10	13 de junio de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	58	Exitoso
11	7 de agosto de 2020	KSC LC-39A	Falcon 9	57	Exitoso
12	18 de agosto de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	58	Exitoso

<b>13</b>	3 de septiembre de 2020	KSC LC-39A	Falcon 9	60	Exitoso
<b>14</b>	6 de febrero de 2020	KSC LC-39A	Falcon 9	60	Exitoso
<b>15</b>	18 de octubre de 2020	KSC LC-39A	Falcon 9	60	Exitoso
<b>16</b>	24 de octubre de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
<b>17</b>	25 de noviembre de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Exitoso
<b>18</b>	Diciembre de 2020	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>19</b>	Enero de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>20</b>	Enero de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>21</b>	Enero de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>22</b>	Febrero de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>23</b>	Febrero de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>24</b>	Febrero 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>25</b>	Marzo de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
<b>26</b>	Marzo de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado

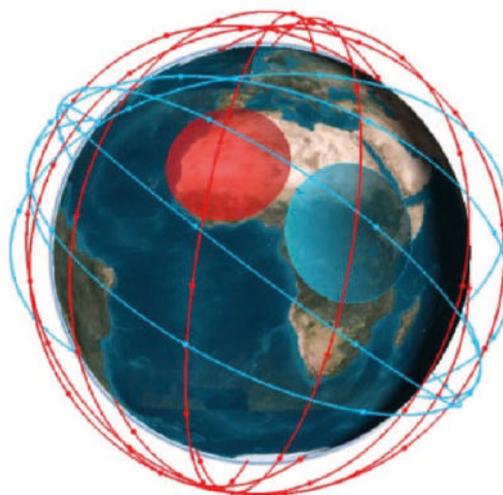
27	Marzo de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado
28	Abril de 2021	Cabo Cañaveral AFS SLC-40	Falcon 9	60	Planeado

Las primeras pruebas del proyecto, realizadas en octubre de 2020, muestran velocidades promedio de hasta 70 Mbps de descarga. De este modo, SpaceX se une a HughesNet y Exede de Viasat como proveedor de servicios de internet de último recurso para usuarios rurales que no pueden obtener cable o fibra. Las velocidades de Starlink son un gran salto con respecto a los sistemas de satélite existentes. Según Speedtest Intelligence, en octubre de 2020, HughesNet promedió 19.84 Mbps de bajada, mientras que el sistema Exede de Viasat promedió 24.75 Mbps. En cuanto a la latencia, en las pruebas recientes varió enormemente, pero promedió 42 ms y se espera alcanzar una latencia de 16 a 19 ms para el verano de 2021. [78]

Pero el servicio de internet por satélite todavía tiene un alto costo: 99 dólares al mes en la fase beta de Starlink, más 499 dólares por la antena parabólica y el enrutador Wi-Fi. [78]

## Sistema Telesat LEO

La constelación en la banda Ka de Telesat comprende al menos 117 satélites distribuidos en dos conjuntos de órbitas: el primer conjunto (órbitas polares) de seis planos orbitales circulares estará a 1000 km con una inclinación de 99.5°, con al menos 12 satélites por plano; El segundo conjunto (órbitas inclinadas) tendrá al menos cinco planos orbitales circulares, a 1200 km, inclinados a 37.4°, con un mínimo de 10 satélites por plano. Mientras que las órbitas polares proporcionan una cobertura global general, el segundo conjunto se centra en las regiones del mundo donde se concentra la mayor parte de la población. La figura 22 muestra la constelación de Telesat. [76]



**Figura 22. Configuración de la constelación para el sistema de Telesat.**<sup>[76]</sup>  
El azul corresponde a las órbitas inclinadas, el rojo a las órbitas polares.

Debido al uso de enlaces cruzados, un usuario podrá conectarse al sistema desde cualquier parte del mundo, incluso cuando el usuario y una puerta de enlace no estén dentro de la línea de visión de un satélite simultáneamente. Cada satélite será un nodo de una red IP y llevará a bordo una carga útil avanzada de comunicaciones digitales con una matriz o arreglo de radiación directa (DRA). La carga útil incluirá un módulo de procesamiento a bordo con capacidades de demodulación, enrutamiento y modulación, desacoplando así el enlace ascendente y descendente, lo que representa una innovación importante respecto a la arquitectura tradicional.<sup>[76]</sup>

La DRA podrá formar al menos 16 haces en la dirección del enlace ascendente y al menos otros 16 haces en la dirección del enlace descendente, y tendrá capacidades de formación y conformación de haces, con potencia, ancho de banda, tamaño y direccionamiento dinámicamente asignados para cada haz para maximizar el rendimiento y minimizar la interferencia a los satélites GEO y N GEO. Además, cada satélite tendrá dos antenas de puerta de enlace orientables y un haz de recepción de amplio campo de visión que se utilizará para la señalización. El sistema está diseñado con varias puertas de enlace distribuidas geográficamente en todo el mundo, cada una con múltiples antenas de 3.5 m. El centro de control en Ottawa supervisará, coordinará y controlará los procesos de asignación de recursos, así como la planificación, programación y mantenimiento de los canales de radio. La constelación de Telesat utilizará un ancho de banda de 1.8 GHz dentro del espectro inferior de la banda Ka (17.8-20.2 GHz) para los enlaces descendentes, y un ancho de banda de 2.1 GHz dentro de la banda Ka superior (27.5-30.0 GHz) para los enlaces ascendentes.<sup>[76]</sup>



La mayor parte del diseño y fabricación del sistema de Telesat se subcontratará a diferentes empresas. Aunque el fabricante de sus satélites aún no se ha decidido, tienen contratos con Thales-Maxar y Airbus para que cada uno desarrolle un diseño de sistema y presente una propuesta firme, mientras que Global Eagle y General Dynamics Mission Systems estarán a cargo de desarrollar sus terminales de usuario. En términos de financiamiento, Telesat indica en su solicitud a la FCC que están dispuestos a invertir "recursos financieros significativos" (propios) y sugirió que recurrirán a los mercados de capital para obtener fondos adicionales. [76]

Actualmente no se ha lanzado ningún satélite de esta constelación y se espera que en 2021 comience el despliegue del primer grupo de satélites.

Un estudio presentado en 2018 en el Congreso Internacional de Astronáutica (IAC 2018) por parte de investigadores del Departamento de Aeronáutica y Astronáutica, Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), mostró una comparativa de estas tres grandes constelaciones de satélites LEO, a saber, el sistema en banda Ku-Ka de 4 425 satélites de SpaceX, el sistema en banda Ku-Ka de 720 satélites de OneWeb y el sistema de banda Ka de 117 satélites de Telesat. [76]

Dicho trabajo consiste en tres partes:

- Primero, presenta la arquitectura del sistema de cada una de las constelaciones (como se describe en sus respectivas presentaciones de la FCC a partir de septiembre de 2018), destacando las similitudes y diferencias entre los tres sistemas.
- Después plantea el desarrollo de un método estadístico para estimar el rendimiento total del sistema (capacidad vendible), considerando tanto la dinámica orbital del segmento espacial como la variabilidad en el rendimiento inducida por las condiciones atmosféricas tanto para el usuario como para los enlaces de conexión. Dado que la ubicación y el número de estaciones terrestres juegan un papel importante en la determinación del rendimiento total del sistema, y dado que las características del segmento terrestre no se describen en las aplicaciones de la FCC, desarrollaron un procedimiento de optimización para minimizar el número total de estaciones requeridas para soportar el rendimiento del sistema.
- Finalmente, concluye identificando algunos de los principales desafíos técnicos que los tres sistemas tendrán que superar antes de entrar en funcionamiento.

De dicho trabajo resulta interesante observar algunos cuadros comparativos como el que se muestra en la tabla 17 enfocado a los parámetros orbitales, donde se menciona que los tres sistemas tienen en común el uso de órbitas circulares con radios similares, todos ellos en el intervalo de 1000 a 1350 km. Sin embargo, mientras OneWeb usa una configuración tradicional de órbitas polares para proporcionar cobertura global, tanto SpaceX como Telesat usan una configuración de múltiples órbitas con algunos satélites colocados en órbitas inclinadas para proporcionar cobertura sobre las áreas más densamente pobladas del planeta, y otras ubicadas en órbitas polares para proporcionar cobertura global. [76]

**Tabla 17.**

Parámetros orbitales para los tres sistemas.

SISTEMA	PLANOS ORBITALES	# PLANOS	SAT/PLANO	# SATÉLITES
<b>ONEWEB</b>	1200 km (87.9°)	18	40	720
<b>SPACE X</b>	1150 km (53°) 1110 km (53.8°) 1130 km (74°) 1275 km (81°) 1325 km (70°)	32 32 8 5 6	50 50 50 75 75	4 425
<b>TELESAT</b>	1000 km (99.5°) 1248 km (37.4°)	6 5	12 9	117

Estas diferencias en las posiciones orbitales, junto con el hecho de que el número total de satélites en la constelación varía mucho entre los sistemas competidores, da como resultado grandes diferencias en el número promedio de satélites dentro de la línea de vista para una ubicación determinada. Para compensar parcialmente esto, Telesat, el sistema con la menor cantidad de satélites, funcionará en ángulos de elevación más bajos (20°) en comparación con los sistemas SpaceX y OneWeb (40° y 55°, respectivamente). Este ángulo de elevación más bajo podría ocasionar bloqueos de enlace más frecuentes (debido al follaje, obstrucción de los edificios) y cortes de enlace (debido a una mayor atenuación atmosférica). La figura 23 muestra el número promedio de satélites dentro de la línea de vista (considerando los ángulos de elevación mínimos reportados en los archivos de la FCC) para diferentes valores de latitud. [76]

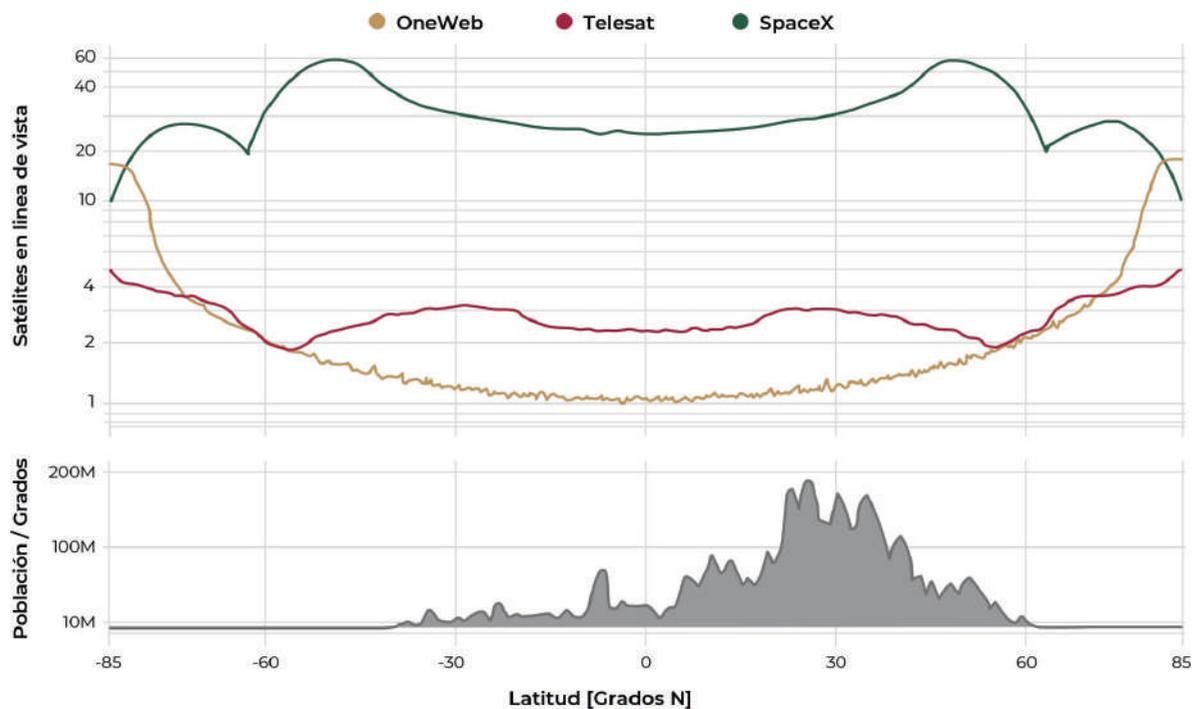


Figura 23. Número de satélites en línea de vista vs. latitud.<sup>[76]</sup>

A pesar de que la cantidad de satélites de la constelación de Telesat es significativamente más pequeña que la de OneWeb, el número de satélites dentro de la línea de vista es mayor en la banda de latitud de 60°, donde se concentra la mayoría de la población. Esto sucede porque el ángulo de elevación mínimo de Telesat es considerablemente menor que para OneWeb (20° vs. 55°). Además, vale la pena señalar que cuando se implemente todo el sistema SpaceX, más de 20 satélites estarán dentro de la línea de vista en las áreas más pobladas de la Tierra. <sup>[76]</sup>

La figura 23 muestra las asignaciones de frecuencia para los diferentes sistemas. Para cada sistema y banda de frecuencia la línea superior representa las asignaciones de polarización circular derecha (RHCP) y la línea inferior representa las asignaciones de polarización circular izquierda (LHCP). La tabla 18 compara el número de haces, el ancho de banda por haz, el ancho de banda total asignado por tipo de enlace y factor de reutilización de frecuencia para cada uno de los haces. El ancho de banda total por satélite se calcula multiplicando el ancho de banda por tipo de haz por el factor de reutilización de frecuencia, que se estimó basado en las tasas de datos totales reportadas por satélite. <sup>[76]</sup>

**Tabla 18.**

Comparación de asignaciones de ancho de banda para diferentes tipos de enlaces y diferentes sistemas.<sup>[76]</sup>

	ENLACE DE USUARIO								PUERTAS DE ENLACE								TELEMETRÍA Y COMANDOS	
	Enlace descendente				Enlace ascendente				Enlace descendente				Enlace ascendente				Enlace descendente	Enlace ascendente
	BW <sub>CH</sub>	#CH	BW <sub>TOT</sub>	k	BW <sub>CH</sub>	#CH	BW <sub>TOT</sub>	k	BW <sub>CH</sub>	#CH	BW <sub>TOT</sub>	k	BW <sub>CH</sub>	#CH	BW <sub>TOT</sub>	k	BW <sub>TOT</sub>	BW <sub>TOT</sub>
<b>SPACE X</b>	250	8	2 000	4-5*	125	4	500	4-5*	250	9	2 250	1	500	8	4 000	1	150	150
<b>ONEWEB</b>	250	8	2 000	2	125	4	500	2	155	16	2 480	1	250	16	4 000	1	70	200
<b>TELESAT</b>	†	†	3 600	4*	¶	¶	4 200	4*	†	†	3 600	2	¶	¶	4 200	2	8	12
	MHz		MHz		MHz		MHz		MHz		MHz		MHz		MHz		MHz	MHz

**BW<sub>CH</sub>**: Ancho de banda del canal.

**#CH**: Número de canales.

**k**: Veces la frecuencia se reutiliza en cada satélite (factor de reutilización).

**BW<sub>TOT</sub>**: Ancho de banda total.

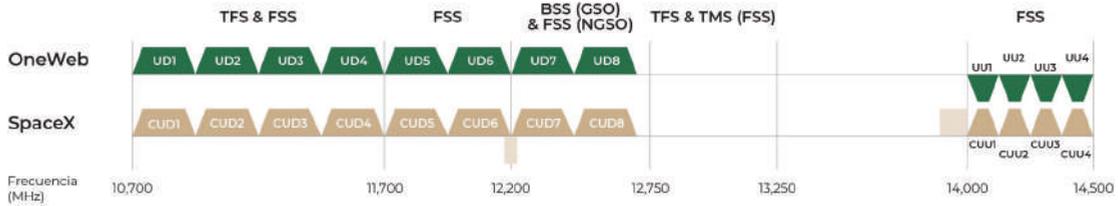
(\*) Indica valores estimados por los autores. El espectro de banda Ka inferior (†) y superior (¶) de Telesat se comparte entre los enlaces de usuario y puerta de enlace. El número de haces y el ancho de banda por haz es reconfigurable.

Por un lado, tanto SpaceX como OneWeb usan el espectro de la banda Ku para sus enlaces de satélite a usuario (enlace ascendente y enlace descendente), mientras que los contactos de satélite a tierra se llevan a cabo en el espectro de la banda Ka inferior (enlace descendente) y superior (enlace ascendente). OneWeb utiliza la polarización circular derecha para los enlaces descendentes del usuario y polarización circular izquierda para los enlaces ascendentes del usuario; SpaceX usa polarización circular derecha para ambos enlaces ascendentes y enlaces descendentes, finalmente con polarización circular izquierda se da la comunicación para datos de telemetría. Además, ambos sistemas usan la banda Ka para sus enlaces de puerta de enlace: OneWeb usa canales de enlace descendente de 155 MHz y canales de enlace ascendente de 250 MHz tanto en RHCP como en LHCP; SpaceX utiliza canales de enlace descendente de 250 MHz y canales de enlace ascendente de 500 MHz, también en RHCP y LHCP. <sup>[76]</sup>

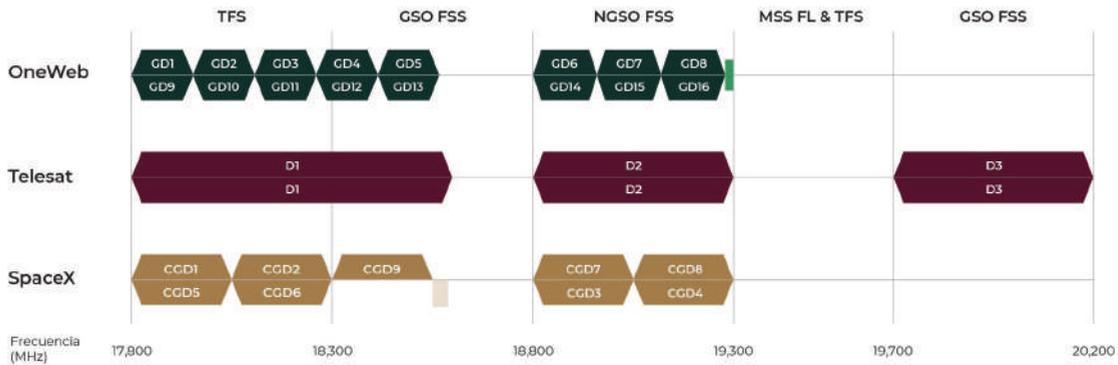
El sistema de Telesat usa solo el espectro de la banda Ka y, por lo tanto, los enlaces de satélite a usuario y de satélite a tierra deben compartir la misma banda de frecuencia. Dada la flexibilidad de su carga útil digital, el sistema de Telesat tiene la capacidad de asignar dinámicamente la potencia y el ancho de banda para el usuario y los haces de puerta de enlace para mitigar la interferencia. <sup>[76]</sup>



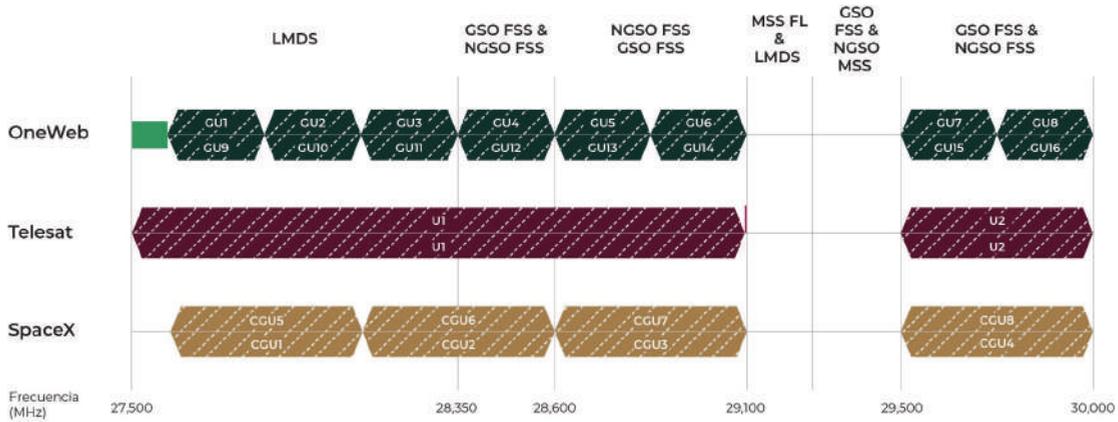
### Banda Ku



### Banda Ka inferior



### Banda Ka superior



#### Acrónimos (Por sus siglas en inglés)

<b>GSO</b> Órbita Geoestacionaria	<b>MSS</b> Servicio móvil por satélite	<b>LMDS</b> Servicio local de distribución multipunto
<b>TFS</b> Servicio fijo terrestre	<b>BSS</b> Servicio de broadcast por satélite	<b>NGSO</b> Órbita no geoestacionaria
<b>FSS</b> Servicio fijo por satélite	<b>MSS FL</b> Enlace de entrada para MSS	

Figura 24. Asignaciones de las bandas de frecuencia para los sistemas satelitales OneWeb, Telesat y SpaceX.<sup>[76]</sup>



El sistema OneWeb tiene una arquitectura tipo bent-pipe, donde cada uno de los 16 canales de enlace descendente del usuario se asigna a un canal de enlace ascendente de la banda Ka, y viceversa, para la dirección de retorno. Las arquitecturas de sistema de SpaceX y Telesat, sin embargo, permiten la demodulación, el enrutamiento y la modulación a bordo, desacoplando efectivamente los enlaces de usuario y puerta de enlace. Esto les permite:

- a) Usar diferentes eficiencias espectrales en los canales de enlace ascendente y descendente, maximizando la capacidad general de sus satélites,
- b) Asignar recursos dinámicamente para los haces del usuario, y
- c) Mitigar la interferencia seleccionando las bandas de frecuencia utilizadas.

**Tabla 19.**

Comparación de las características del haz para los tres sistemas diferentes.<sup>[76]</sup>

	HAZ DE USUARIO - ENLACE DESCENDENTE			HAZ DE PUERTA DE ENLACE - ENLACE DESCENDENTE			
	Space X	OneWeb	Telesat	Space X	OneWeb	Telesat	
# HACES	>= 8	16	>= 16	9	16	2	-
ORIENTABLE	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	-
MOLDEABLE	Sí	No	Sí	No	No	No	-
ÁREA	2800	75000	960	780	3100	960	km <sup>2</sup>
BW	250	250	-	250	155	-	MHz
EIRP	36.71	34.6	37-39	39.44	38	30.6-39	dBW
MAX GANANCIA	37.1	-	38	41	-	31.8	dBi
POLARIZACIÓN	RHCP	RHCP	R/LHCP	R/LHCP	R/LHCP	R/LHCP	-

	HAZ DE USUARIO - ENLACE ASCENDENTE			HAZ DE PUERTA DE ENLACE - ENLACE ASCENDENTE			
	Space X	OneWeb	Telesat	Space X	OneWeb	Telesat	
# HACES	>= 8	16	>= 16	8	16	2	-
ORIENTABLE	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	-
MOLDEABLE	Sí	No	Sí	No	No	No	-
ÁREA	2800	75 000	960	780	3100	960	km <sup>2</sup>
BW	125	125	-	500	250	-	MHz
MAX GANANCIA	37.1	-	41	41	-	41	dBW
MAX. G/T	9.8	-1	13.2	13.7	11.4	2.5	dB/K
POLARIZACIÓN	RHCP	LHCP	R/LHCP	R/LHCP	R/LHCP	R/LHCP	-

Debido a este desacoplamiento, se estima que ambos sistemas pueden lograr eficiencias espectrales cercanas a 5.5 bps / Hz en sus enlaces de puerta de enlace, lo que podría resultar en reutilizaciones de frecuencia de cuatro a cinco veces para enlaces de usuario en el caso de SpaceX y de cuatro veces para haces de usuario con el sistema de Telesat. [76]

Dadas las diferencias en la carga útil de los satélites a bordo de cada uno de los sistemas, los haces en cada uno de los satélites también tienen diferencias significativas en términos de capacidades, forma y área de cobertura. La tabla 19 contiene un resumen de las características del haz para los tres sistemas. [76]

Tanto SpaceX como Telesat tienen haces orientables y conformables individualmente, en comparación con OneWeb, que solo tiene haces fijos. Ambos usan haces de forma circular, mientras que OneWeb emplea haces altamente elípticos. [76]

El resultado de la investigación realizada por el MIT se presenta en la tabla 20, la cual contiene un resumen de los valores de resultados que

obtuvieron al aplicar el método estadístico que desarrollaron para estimar el rendimiento total del sistema. Es interesante comparar la eficiencia de estos sistemas, en términos de rendimiento promedio por satélite, versus la velocidad de datos máxima alcanzable por satélite. [76]

**Tabla 20.**

Resumen de resultados para los sistemas Telesat, OneWeb y SpaceX [76]

	TELESAT	ONEWEB	SPACE X	
Número de satélites	117	720	4 425	-
Máximo rendimiento total del sistema	2.66	1.56	23.7	Tbps
Número de sitios en tierra para el máximo rendimiento	42	71	123	-
Número de antenas de puerta de enlace para un rendimiento máximo	221	725	~3500	-
Número requerido de puertas de enlace por estación terrestre	5-6	11	30	-
Velocidad de datos promedio por satélite (real)	22.74	2.17	5.36	Gbps
Máxima velocidad de datos por satélite	38.68	9.97	21.36	Gbps
Eficiencia satelital	58.8	21.7	25.1	%
<b>Escenario con 50 estaciones terrenas</b>				
Capacidad con 50 estaciones	2.66	1.47	16.8	Tbps
Número de antenas de puerta de enlace requeridas	221	525	1500	-
Velocidad de datos promedio por satélite (real)	22.74	2.04	3.72	Gbps
Máxima velocidad de datos por satélite	38.68	9.97	21.36	Gbps
Eficiencia satelital	58.8	20.5	17.4	%

En ese sentido, el sistema de Telesat alcanza la mayor eficiencia con un promedio de 22.74 Gbps por satélite (58.8% de su velocidad de datos máxima por satélite), mientras que SpaceX y OneWeb alcanzan 5.36 y 2.17 Gbps (25.1 y 21.7% de su máximo por capacidad satelital, respectivamente). Esta diferencia en la eficiencia del satélite se debe principalmente a dos decisiones arquitectónicas del sistema de Telesat: tener dos antenas de puerta de enlace activas a

bordo del satélite y tener un ángulo de elevación mínimo más bajo en el lado del usuario. [76]

La parte inferior de la tabla 20 muestra los resultados para un escenario hipotético donde los tres sistemas tienen 50 estaciones terrestres. En este caso, el sistema de SpaceX sería el más afectado, con un rendimiento total reducido en un 30% a 16.8 Tbps, mientras que el rendimiento del sistema OneWeb se reduciría en un 6% a 1.47 Tbps. El sistema de Telesat no se vería afectado, ya que solo requiere 40 estaciones terrestres para operar a su máxima capacidad. [76]

Así pues, la estrategia de OneWeb se enfoca en ser el primero en el mercado, minimizando el riesgo y empleando un segmento espacial de baja complejidad, ofreciendo así menores rendimientos. Por el contrario, la estrategia de Telesat gira en torno a satélites de alta capacidad y flexibilidad del sistema (en diversas áreas como implementación, asignación de capacidad específica, enrutamiento de datos, etc.), lo que resulta en una mayor complejidad de diseño. Finalmente, el sistema SpaceX es distintivo en su tamaño; aunque individualmente cada satélite no es significativamente más complejo que el de Telesat, la gran cantidad de satélites y estaciones terrestres aumenta considerablemente los riesgos y complejidades del sistema en general. [76]

### 4.2.1 Proyección de la demanda

Las empresas dedicadas al desarrollo y proveeduría de servicios de pequeños satélites tratarán de demostrar sus modelos de negocios comerciales y generar importantes ingresos en los próximos años, mediante el despliegue de constelaciones. Esto ha despertado el interés del desarrollo de nuevos actores como sistemas de lanzamiento para dichas cargas útiles. Algunas empresas como Virgin Orbit, Rocket Lab y Vector ya cuentan con contratos y algunas ya anunciaron su manifiesto de lanzamientos.

SpaceWorks desarrolló un estudio comparativo de 2015 a 2021 con el fin de realizar un pronóstico que refleje la posible demanda de servicios para pequeños satélites. En el año 2020 fueron lanzados aproximadamente 298 nano/micro satélites (entre 1 kg y 50 kg), basado en un modelo probabilístico que contempla el tamaño esperado del mercado, los anuncios de lanzamiento de satélites o constelaciones de ellos y tendencias históricas (véase la figura 25). Un dato adicional en 2020 señala una reducción en 15% en el despliegue de las nuevas constelaciones del internet de las cosas (IoT) y los servicios de máquina

a máquina (M2M) y señala las continuas preocupaciones sobre la longevidad de los modelos de negocios de satélites pequeños. [73]

Después de que se lanzó una serie de satélites de comunicaciones en 2018, muchos operadores se mantuvieron notablemente en silencio en 2019, con solo 17 nano/micro satélites de comunicaciones puestos en órbita. Blink Astro & Lacuna Space se unió a una creciente lista de proveedores de servicios IoT / M2M con el lanzamiento del satélite M6P a principios de marzo de 2019. A pesar de ello SpaceWorks estima que entre 1800 y 2400 nano/microsatélites requerirán lanzamiento en los próximos cinco años. [73]

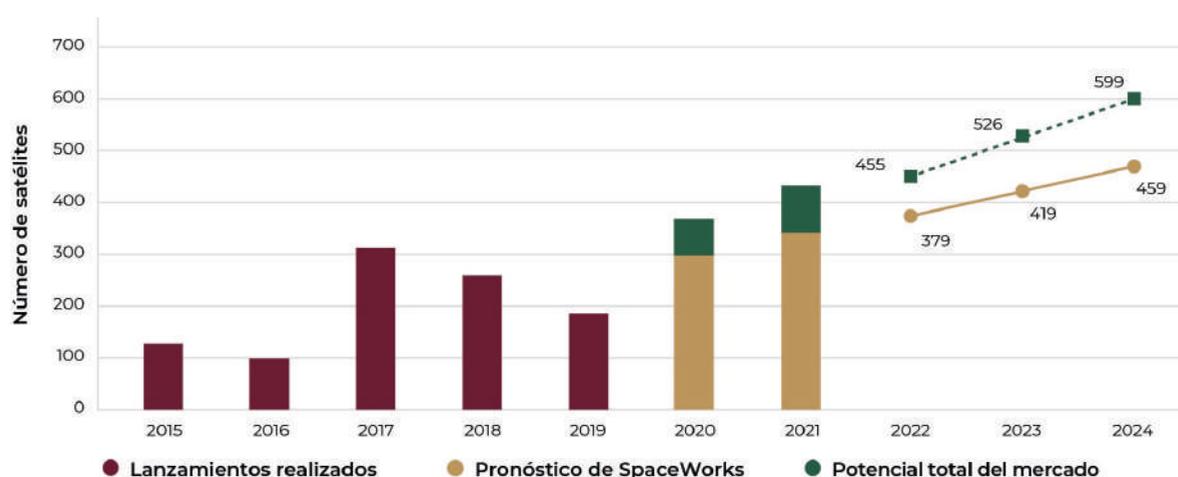


Figura 25. Historial de lanzamientos de nano/microsatélites (1-50kg) hasta 2019 y predicción del mercado 2020-2024. [73]

Con base en estos números, SpaceWorks desarrolló un análisis para determinar los sectores comerciales por aplicación que crecerán o se modificarán en el mismo intervalo de tiempo (véase la figura 26). Resulta interesante observar que la tendencia en aplicaciones de observación de la Tierra seguirá siendo la de mayor importancia a pesar de una reducción porcentual, y que en el campo de las comunicaciones se espera un incremento de 12 puntos porcentuales respecto del número total de satélites. [73] Gran parte de la actividad de telecomunicaciones en este segmento está centrada alrededor de los servicios del creciente mercado del IoT y el M2M, por lo que se espera que sea el mayor impulsor del crecimiento del mercado en el futuro. [84] [85] En 2018 siete compañías diferentes lanzaron su primer nano / microsatélite de IoT entre las que destacan: AstroCast, Fleet Space, Hiber, Swarm Technologies, Kepler Communications, Myriota y MSI Tech. [85]

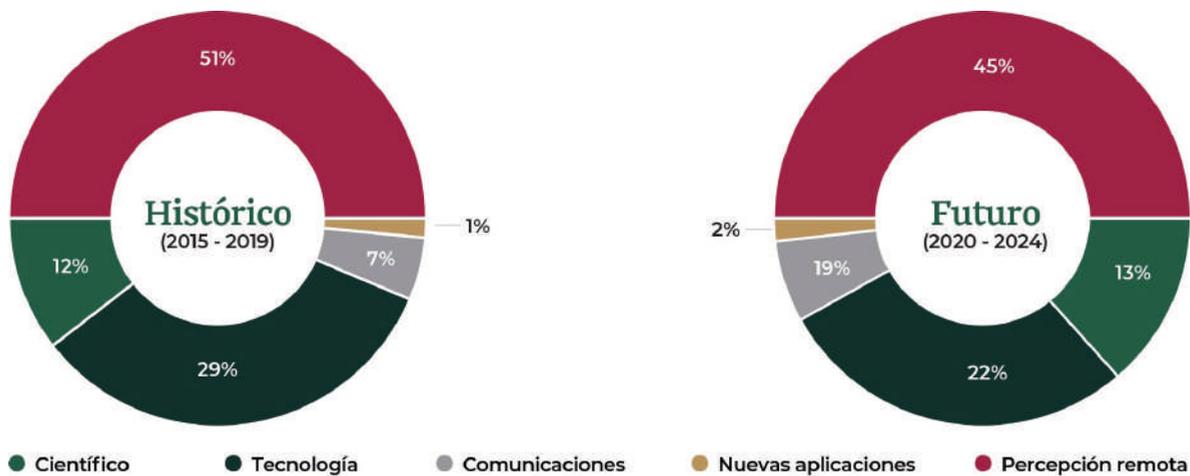


Figura 26. Tendencias de crecimiento por aplicación para el mercado de los nano/microsatélites para 2020-2024.

Un estudio reciente de Bryce menciona que **en 2019 se lanzaron 243 pequeños satélites comerciales, de los cuales 140 fueron de telecomunicaciones**, lo que representa un 58% del total, como se muestra en la figura 27.<sup>[74]</sup>

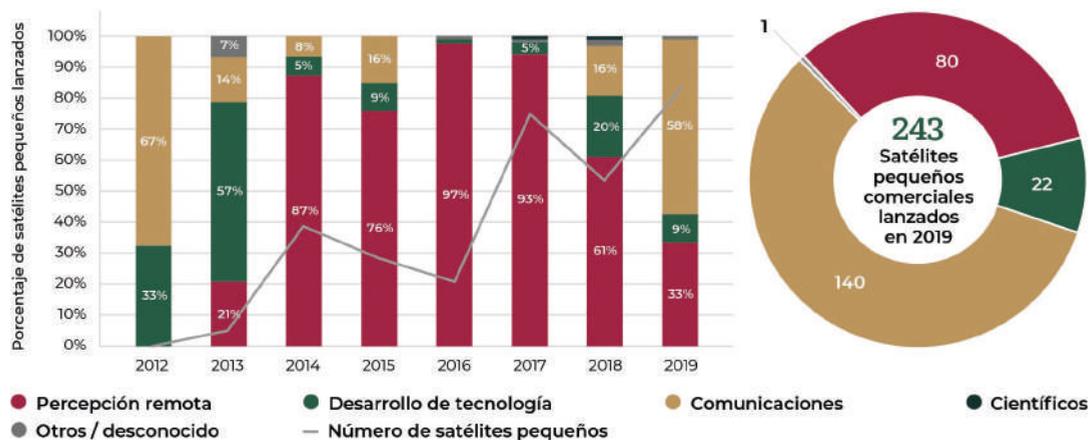


Figura 27. Todos los satélites comerciales pequeños lanzados de 2012 a 2019 clasificados por tipo de aplicación.

Por otro lado, es necesario mencionar que la limitada disponibilidad de los lanzadores apropiados, así como un número considerable de fallas en alguna de las fases del lanzamiento representó una reducción en el despliegue de pequeños satélites a mediados de la década pasada. <sup>[86]</sup> En los últimos estudios realizados por la empresa SpaceWorks se muestra que el acumulado de los nano/microsatélites presentó un incremento considerable en 2017 con el despliegue de 300 objetos, seguido de una reducción durante el 2018 y 2019, como se muestra en la figura 28. <sup>[84][73]</sup>

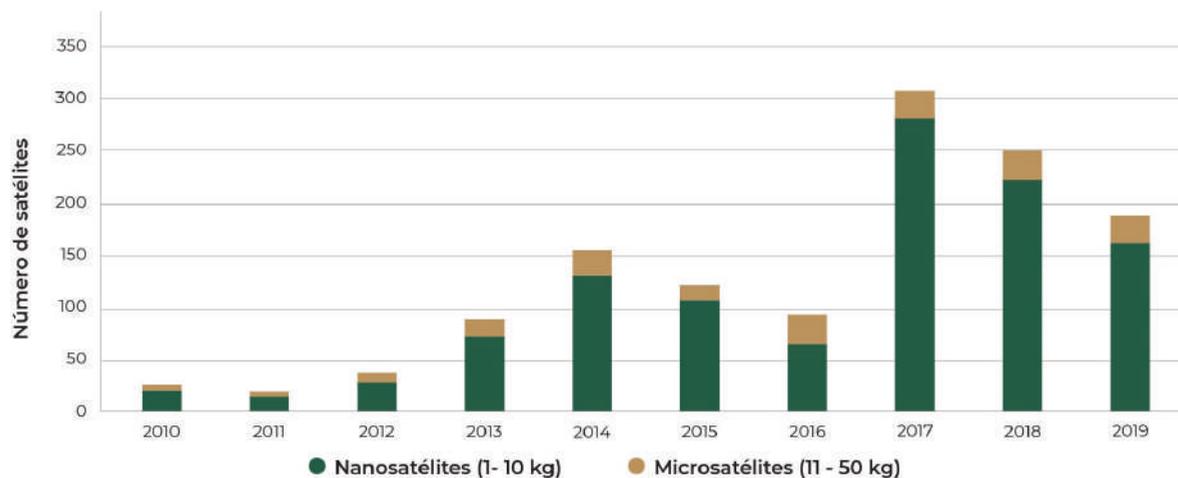


Figura 28. Cantidad acumulada de nano/microsatélites por año de 2010 a 2019.

De acuerdo con el estudio de SpaceWorks, actualmente la mayoría de los pequeños satélites son lanzados como cargas secundarias a través de lanzadores para cargas pesadas y medianas, a pesar del creciente número de operaciones dedicadas a vehículos ligeros de lanzamiento.<sup>[73]</sup> El mercado mundial de vehículos de lanzamiento demostró su capacidad para satisfacer las crecientes demandas del segmento de nanosatélites/microsatélites mediante el empleo de lanzadores intermedios, como es el caso del PSLV-C37 de fabricación hindú, Antares de origen estadounidense y la Soyuz de manufactura rusa. Una descripción detallada de la cantidad de pequeños satélites lanzados durante 2019 la podemos observar en la figura 29.

Se destaca que comienza cada vez más una participación activa de lanzadores pequeños dedicados, como es el caso de Electrón y Kuaizhou.<sup>[73]</sup>

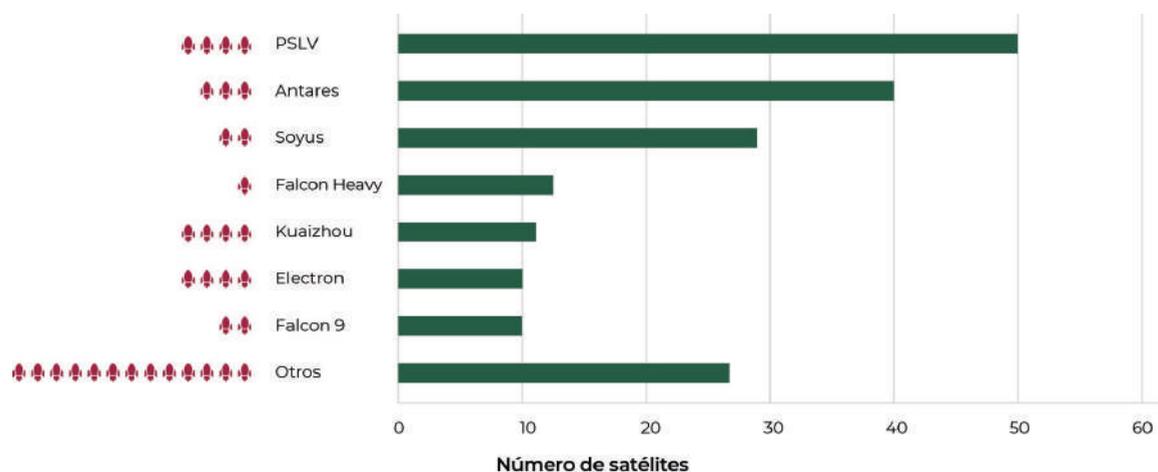


Figura 29. Lanzamientos de nano/microsatélites de 2019<sup>[73]</sup>

Por su parte, Bryce menciona que los lanzamientos para pequeños satélites durante 2019 estuvieron dominados en un 80% por vehículos lanzadores medianos y pesados (con capacidad mayor o igual a 2268kg) seguidos del 20% restante por vehículos lanzadores pequeños (con capacidad menor a 2268 kg).<sup>[74]</sup> De igual forma corrobora una creciente tendencia a misiones compartidas con pequeños satélites, como se muestra en la figura 30.<sup>[74]</sup>

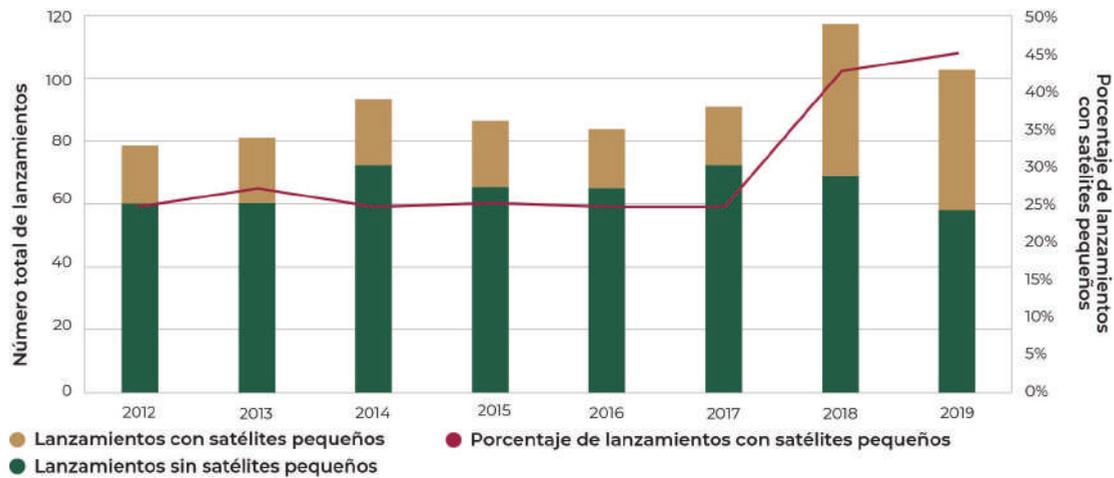


Figura 30. Porcentaje de lanzamientos con satélites pequeños de 2012 a 2019.<sup>[74]</sup>

Los lanzamientos de satélites pequeños generalmente requieren la coordinación de múltiples satélites, así como de las operaciones asociadas al vehículo lanzador. Estos son solo alguno de los factores que pueden producir retrasos en los calendarios de operación. De hecho, en los últimos cinco años, los 1078 lanzamientos comerciales de pequeños satélites han experimentado algún tipo de retraso que puede ir desde semanas hasta años de acuerdo con una recopilación de datos hecha por la empresa Bryce (véase la figura 31).<sup>[87]</sup>

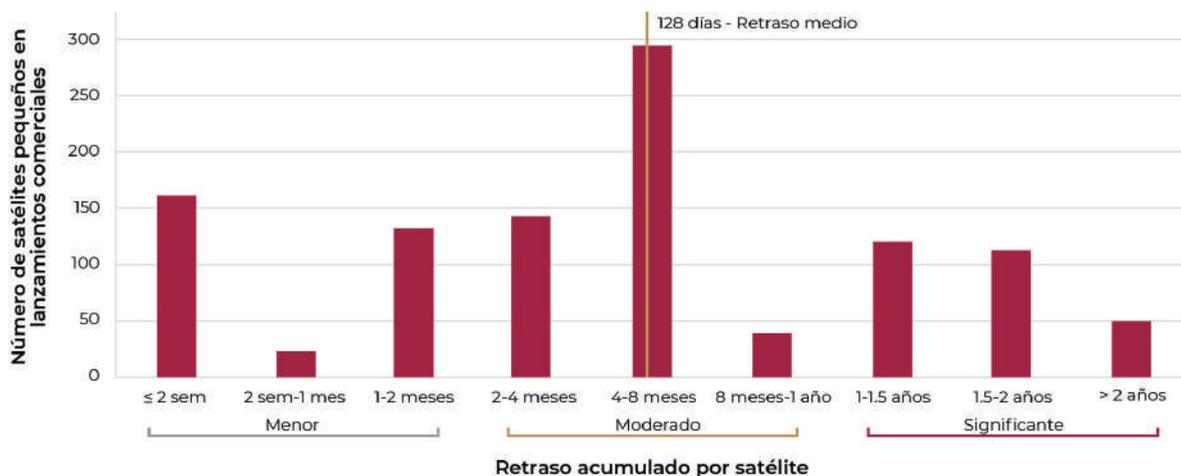


Figura 31. Retrasos acumulativos reales para satélites pequeños durante los últimos cinco años.<sup>[87]</sup>

El estudio de Bryce también logró clasificar algunas de las causas más frecuentes de retraso, las cuales se pueden agrupar como se muestra en la figura 32.



Figura 32. Causa de retrasos en el lanzamiento de pequeños satélites.[87]

## Integración vertical

Para las pequeñas compañías satelitales, el atractivo de las economías de escala y la menor dependencia de proveedores externos hace que la integración vertical sea difícil de resistir. [88]

La integración vertical se refiere a una empresa que trae elementos adicionales de la cadena de valor de la industria bajo propiedad común. En pocas palabras, se trata de realizar internamente las operaciones que anteriormente estaban subcontratadas. Las empresas pueden integrarse verticalmente tanto aguas arriba (lejos del usuario final, por ejemplo, en la producción de materias primas) como aguas abajo (más cerca del usuario final, por ejemplo, en proporcionar análisis de datos), dependiendo de su ubicación relativa en la cadena de suministro. La figura 33 detalla este proceso en profundidad:

Un estudio realizado por SpaceWorks, publicado por primera vez en el Simposio de Programación de Costos de la NASA, indica que el poder de mercado, las interrupciones de los proveedores y el control de calidad juegan un papel importante en la decisión de las pequeñas empresas de satélites de integrarse verticalmente, pero el tamaño de la constelación es probablemente el motivador más convincente. [88]



Figura 33. Tipos de Integración de proyectos satelitales.<sup>[88]</sup>

En general, las estrategias de integración vertical se adoptan como un medio para aumentar la eficiencia, controlar los costos y reducir el riesgo de terceros. Aunque es importante tener en cuenta que para que la estrategia sea efectiva estos incentivos deben superar el alto costo de instalación y los riesgos adicionales asociados con las operaciones integradas. <sup>[88]</sup>

En la figura 34 SpaceWorks explora los costos de una hipotética constelación de satélites de comunicaciones de 300 kg bajo diferentes enfoques de fabricación. El costo promedio por unidad (CPPU) refleja los costos totales de desarrollo y producción de la constelación, amortizados a través del número de satélites operativos. El CPPU es inicialmente alto para el enfoque de integración vertical, lo que refleja los costos iniciales asociados con la construcción de nuevas instalaciones, procesos, etc. Con el tiempo, ya que el fabricante comienza a lograr economías de escala significativas, el CPPU comienza a descender significativamente, a un ritmo mucho más rápido que la fabricación tradicional. <sup>[88]</sup>

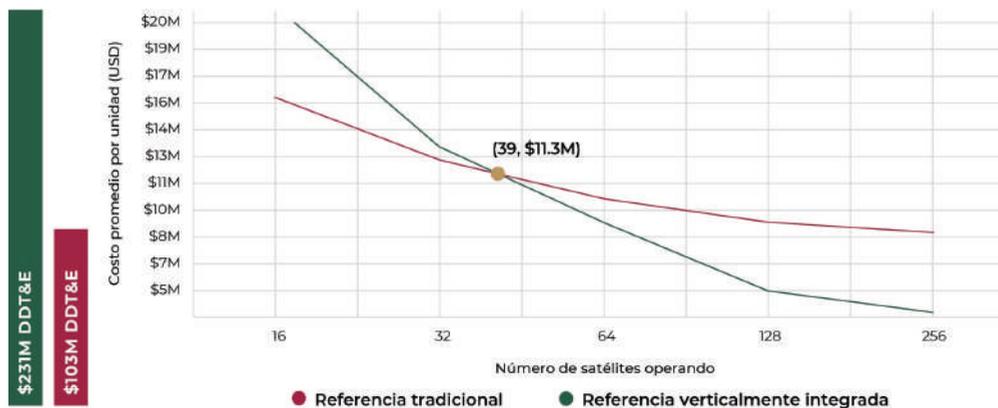


Figura 34. Constelación de satélites pequeños de comunicaciones de 300 kg, costo promedio por unidad.<sup>[88]</sup>

La investigación de SpaceWorkss sugiere que debido a que las empresas pueden asimilar casi todos los efectos de aprendizaje y acelerar más fácilmente sus cronogramas de desarrollo, en consecuencia, se reducen los costos significativamente. Así pues, el enfoque de integración verticalmente comienza a ser financieramente atractivo para las naves espaciales de 300 kg para constelaciones de 39 naves en adelante, dependiendo de varias características relacionadas con la empresa. [88]

Muchas compañías de banda ancha satelital han comercializado su capacidad de llevar internet de banda ancha a áreas rurales y otros lugares con servicio deficiente o nulo. Esto podría permitir que más personas del mundo participen en los beneficios educativos y económicos de una sociedad más conectada. Sin embargo, una incertidumbre es el verdadero tamaño del mercado desatendido o poco atendido. Por ejemplo, la GSMA estima que a partir de 2018 sólo 750 millones de personas están completamente descubiertas por las redes de banda ancha móvil, [96] que es mucho más pequeña que los aproximadamente 3800 millones de personas en el mundo que no usan internet.

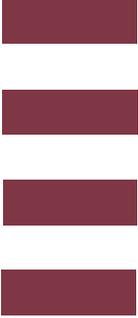
Otra oportunidad son las regiones árticas del mundo, incluidas Alaska, Canadá, los países nórdicos y Rusia. Debido a su ubicación geográfica y al número relativamente pequeño de clientes, el servicio en esta región ha sido más lento y costoso que en el resto del mundo durante años.

Otros jugadores persiguen aplicaciones más especializadas. Una oportunidad importante, por ejemplo, podría ser proporcionar la columna vertebral para las redes de dispositivos IoT: fábricas inteligentes, cadenas de suministro, servicios públicos, plataformas petroleras y otros sistemas que requieren comunicación de máquina a máquina.

Las empresas también podrían vender banda ancha satelital a los gobiernos para servicios como educación, respuesta de emergencia y otros que exigen altos niveles de conectividad confiable y dedicada.

Mirando hacia el futuro, las suscripciones por sí solas pueden no ser suficientes para garantizar el éxito financiero. Existe la posibilidad de que algunos de estos proveedores ofrezcan un conjunto integral de servicios además de la conectividad básica.

En lugar de vender ancho de banda a otros proveedores de servicios, algunos pueden optar por crear sus propias aplicaciones nuevas y desplegarlas a través de sus redes satelitales.



Si esto sucede, los proveedores exitosos de banda ancha satelital podrían terminar siendo dueños de cadenas de valor completas en áreas como el comercio y la comunicación. Por ejemplo, el Sistema Kuiper de Amazon podría ofrecer fácilmente una gran cantidad de servicios existentes y nuevos de Amazon directamente a los consumidores y clientes empresariales, sin pasar por otros proveedores de servicios de internet.



### 4.3 Nuevas tecnologías

El segmento militar no es el único en la utilización de los nanosatélites para la demostración de tecnología. También los operadores civiles y comerciales han utilizado este tipo de satélites para la demostración de nuevas tecnologías en la última década. Ejemplos recientes, como Astro Digital's Palisade, destacan el papel fundamental de las demostraciones de tecnología en la reducción de riesgos. <sup>[73]</sup>

Sin embargo, la mayoría de estas misiones no solo tiene el objetivo de una reducción de riesgos. La investigación de SpaceWorks encuentra que casi 60% de las misiones de demostración de tecnología en 2019 tienen el propósito explícito de madurar componentes o subsistemas específicos. Los componentes de comunicaciones y aviónica encabezaron la mayor parte de la inversión hasta la fecha, pero los componentes de mecanismos estructurales y de propulsión también registraron un interés significativo. <sup>[73]</sup>

En el futuro se espera que las misiones de demostración de tecnología disminuyan a medida que la industria cambie hacia operaciones comerciales de rutina. Aun así, una fuerte demanda militar y una serie de nuevas áreas de interés (como dispositivos encargados de la desorbitación) pueden ser suficientes para proteger la cuota de mercado del segmento de tecnología al menos a corto plazo. <sup>[73]</sup>

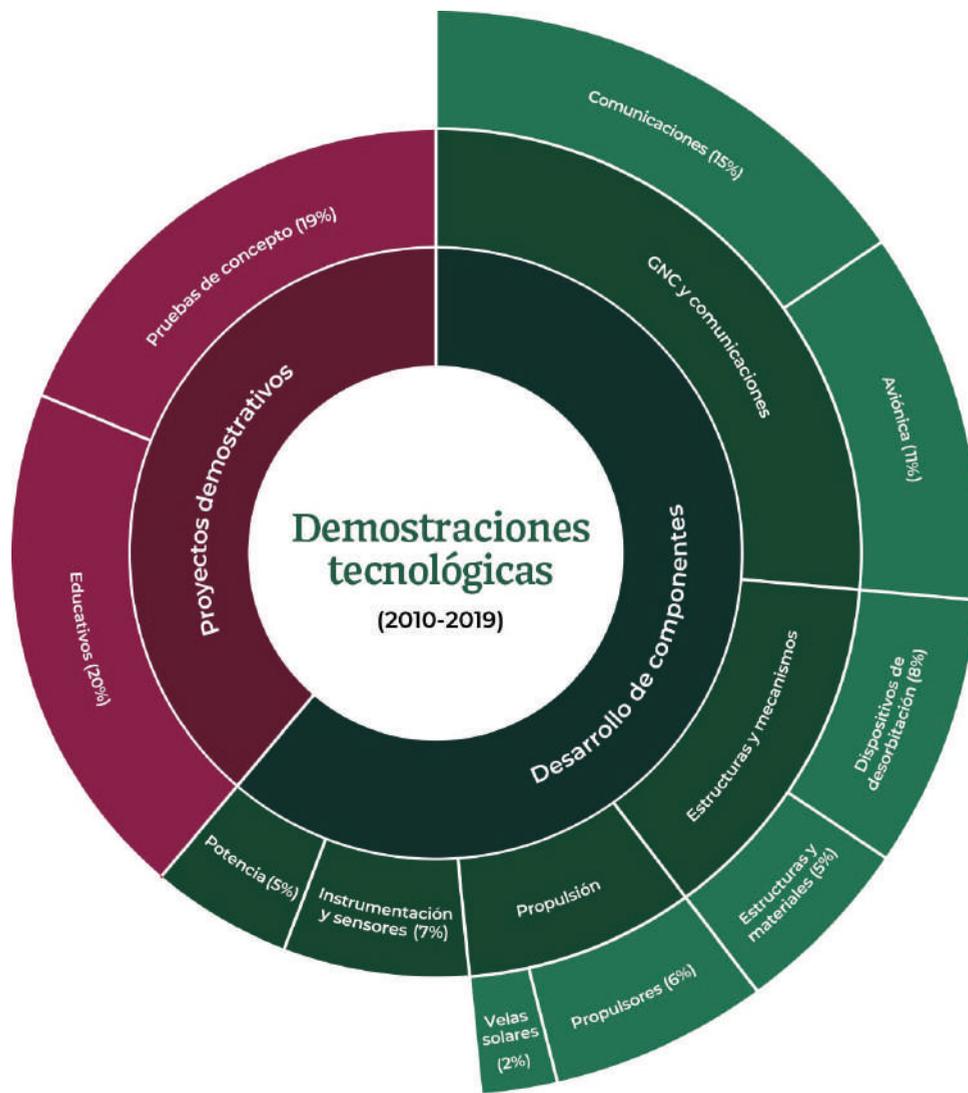


Figura 35. Estudio de casos de madurez tecnológica de 2010 a 2019. [73]

Operar en el espacio y comenzar un nuevo negocio son actividades de alto riesgo que ofrecen poco margen de error, y muchas de las compañías que ingresan al negocio de banda ancha satelital intentan hacer ambas cosas al mismo tiempo.

Estas compañías se enfrentan a una gran cantidad de desafíos técnicos y operativos que podrían retrasar o descarrilar sus planes, incluidos, entre otros, la construcción y operación de la estación terrestre, la posible interferencia de radiofrecuencia con otros satélites, la fijación de precios, la disponibilidad de terminales para el usuario, las batallas por los derechos del espectro, e incluso preocupaciones sobre la contaminación visual de satélites brillantes que interrumpen la astronomía terrestre.



Estos son algunos de los obstáculos más importantes que las empresas de esta joven industria probablemente deberán superar:

**Satisfacer las expectativas de servicio.** ¿La constelación de una empresa entregará las velocidades y la latencia prometidas? ¿Será lo suficientemente rápido para video de alta definición, comercio financiero de alta velocidad y control casi en tiempo real sobre vastas redes de dispositivos IoT? Ciertamente es posible, pero solo si la tecnología funciona como se espera (una prueba operacional reciente del servicio de OneWeb demostró transmisión de video en vivo de alta definición completa con latencia de menos de 40 milisegundos a velocidades de más de 400 Mbps). [70]

**Garantizar la fiabilidad del satélite.** Los avanzados sistemas satelitales y las técnicas de fabricación que están haciendo posible estas megaconstelaciones también son relativamente nuevos. Si bien estas técnicas son necesarias para cumplir con los cortos plazos para la construcción, el lanzamiento y la implementación, las empresas deben invertir lo suficiente en diseñar y probar los resultados para crear sistemas robustos y confiables que funcionen durante toda su vida en órbita. Si hay un problema con un satélite, las compañías deben asegurarse de que se pueda desorbitar de forma rápida y segura. SpaceX ya ha perdido tres satélites Starlink desde su primer lanzamiento de 60. [70]

**Gestión de desechos espaciales.** Muchos están preocupados de que al introducir miles y miles de objetos nuevos en LEO, no sólo se acumularán en las órbitas existentes, sino que se creará un ambiente peligroso con el potencial de que ocurran más conjunciones entre satélites. Lamentablemente, la posibilidad de colisión no es hipotética. El 2 de septiembre de 2019 la Agencia Espacial Europea tuvo que maniobrar uno de sus satélites científicos para evitar potencialmente un satélite Starlink. Actualmente, diferentes organizaciones comerciales y gubernamentales están buscando cambiar las reglas que rigen la forma en que se manejan las conjunciones, así como también cómo desorbitar de forma segura los satélites al final de su vida útil. También están explorando el uso de algoritmos de aprendizaje automático y mejorando las tecnologías de seguimiento, como el radar terrestre, para gestionar el problema. La colaboración internacional en torno a este tema está en aumento, y las propias empresas están tratando de ponerse al frente. OneWeb ha establecido un marco de principios y prácticas llamado "Espacio responsable" para regirse e inspirar a otros. [70]



## IOT/M2M Satelital

Aunque las estimaciones varían significativamente debido a la definición de las conexiones, el crecimiento proyectado en las conexiones de IoT (internet de las cosas) tiene el potencial de transformar una serie de mercados. Los requisitos básicos de IoT son que todos los dispositivos deben estar conectados donde sea que estén. Si bien las implementaciones de Wi-Fi, las redes Bluetooth y GSM terrestres pueden admitir muchas aplicaciones IoT, estos servicios de red no pueden proporcionar la cobertura ubicua y sin interrupciones de los satélites. [89]

El éxito final de la cobertura global de IoT dependerá del soporte activo de las redes de satélite, como los servicios de banda L. La tecnología satelital sirve como un habilitador clave para transformar la conectividad IoT a través de industrias y fronteras geográficas. Las aplicaciones abarcan desde petróleo y gas, hasta minería, consumidores y transporte. [89]

La conexión de dispositivos IoT individuales a través de satélites se enfrenta actualmente a varios desafíos, como el alto costo de los módulos y el alto consumo de energía. En operaciones a más largo plazo, lo que más importa es la implicación del consumo de energía en la vida útil de la batería. El alto consumo de energía afecta tanto la capacidad como la vida útil del dispositivo. Las mayores demandas de energía también tienen un impacto en las implementaciones que requieren una operación a base de baterías. Para aquellas aplicaciones comerciales que requieren costos de dispositivo final muy bajos, bajo consumo de energía y bajos costos de mantenimiento, no se cuenta actualmente con la tecnología adecuada. Solo unas pocas compañías como ORBCOMM buscan explorar este tipo de conexiones. [89]

No obstante, las aplicaciones de IoT para consumidores siguen siendo un nicho pequeño de mercado en comparación con el mercado de IoT empresarial que es más grande, y son estas aplicaciones empresariales las que deberían ser el foco principal para los operadores y proveedores de servicios por igual. [89]

La conexión de segmentos de la red terrestre de IoT directamente al backend de IoT vía satélite de banda ancha se está convirtiendo en un nuevo enfoque comercial, creando oportunidades para el uso notable de las redes híbridas entre tecnología LPWAN y las puertas de enlace satelitales. [89]





Las puertas de enlace agregan conexiones terrestres de banda estrecha. La principal ventaja es llevar conectividad a áreas remotas a través de un enlace satelital a un concentrador (dispositivo de puerta de enlace), que servirá a muchos dispositivos IoT en el área local a través de una solución terrestre LPWAN. [89]

Para proporcionar conectividad a la infraestructura satelital solo se necesitan unos pocos nodos concentradores de mayor valor para cada implementación. Por lo general hay de 1:10 a 1: 1000 nodos, según el área de cobertura y la densidad de nodos. Los puntos clave para la solución terrestre híbrida satélite-LPWAN son ubicaciones remotas que no son atendidas por redes de comunicación terrestre o áreas donde no hay fácil disponibilidad de roaming de red. Así pues, los dispositivos IoT pueden aprovechar las características de bajo consumo y bajo costo de LPWA, omitiendo las restricciones de duración de la batería que aumentan el costo del dispositivo. En última instancia, esto dará lugar a modelos de negocios nuevos y diversos:[89]

- **En la agricultura, IoT** se puede utilizar para aumentar los rendimientos y la productividad mediante la optimización de la producción de cultivos y el avance de su almacenamiento y distribución. Los costos de capital han limitado el crecimiento de la productividad agrícola en las economías en desarrollo.
- **El monitoreo de proyectos de ingeniería civil**, particularmente en áreas remotas y potencialmente peligrosas, presenta una oportunidad notable para los satélites M2M / IoT. El crecimiento para el sector de la construcción M2M / IoT está impulsado principalmente por las economías en desarrollo, el aumento de la población y el desarrollo de infraestructura en América Latina, Oriente Medio / África y Asia. El sistema de monitoreo de salud estructural que integra tecnologías satelitales e IoT puede ofrecer un medio de mantenimiento para diferentes tipos de activos. Este tipo de sistema proporcionaría un diagnóstico de la estructura en un entorno cambiante, localizando las amenazas causadas por la degradación ambiental, el movimiento de la tierra, los trabajos de ingeniería, el deslizamiento de tierra, la minería y la actividad industrial por mencionar algunos.
- **Para que la asistencia sanitaria (tratamiento postoperatorio)** con aplicaciones de IoT generen los máximos beneficios, se requieren cambios desde la reducción de costos en los sensores, el cambio de comportamiento entre los proveedores de salud y los consumidores y el análisis avanzado de datos. En las economías en desarrollo, los mayores beneficios provenirán de la expansión de los servicios de atención médica para

comunidades remotas, particularmente en el diagnóstico y las pruebas en clínicas, a través de una red VSAT, ya sea en la residencia de un consumidor o regionalmente. Un papel clave para las redes VSAT es actuar como respaldo para cuando las redes terrestres fallan, especialmente en las economías en desarrollo en aplicaciones críticas como la asistencia sanitaria. [89]

La automatización de estas industrias en las regiones desarrolladas ya ha avanzado, por lo que el mayor potencial de crecimiento se mantendrá en las regiones en desarrollo que trabajan para mejorar las capacidades tecnológicas. Para aplicaciones de bajo ancho de banda, como las lecturas de medidores, los satélites son una opción viable, especialmente en las regiones en desarrollo donde proporciona una infraestructura instantánea que no depende de la infraestructura terrestre irregular. [89]

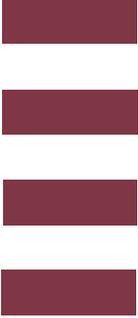
Se lograrán mayores niveles de automatización en estas regiones a través de una mejor extracción y gestión de datos con un impacto inmediato en aplicaciones como el monitoreo del crecimiento de los cultivos y la predicción de enfermedades, la productividad a través de rendimientos mejorados, la gestión de las deficiencias y el uso reducido de combustible y fertilizantes. [89]

Las opciones tecnológicas a veces dependen de qué, cómo y cuánto espectro está disponible. La coexistencia de múltiples redes dentro de un territorio podría ser útil para M2M / IOT; sin embargo, diferentes países han desarrollado pautas sobre cómo gobernar la gestión de datos. Posiblemente la disponibilidad de espectro tendrá un efecto sobre cómo evoluciona M2M / IoT en el futuro cercano. [89]

#### **4.4 Equipo terrestre**

Dado el gran número de satélites desplegados en cada una de las propuestas de telecomunicaciones, se genera un problema en la coordinación de las mismas para mitigar la interferencia de eventos en línea, el cual será un aspecto importante a contemplar. La interferencia en línea puede ocurrir entre un satélite N GEO y un satélite GEO (cuando los satélites LEO cruzan la línea del ecuador y tienen haces apuntando hacia la dirección del nadir), y entre dos satélites N GEO cercanos de diferentes constelaciones cuyos haces apuntan a la misma ubicación y operan en la misma frecuencia. [76]

Con respecto a la interferencia N GEO-GEO, cada propuesta tiene una estrategia de mitigación diferente. Si bien OneWeb ha propuesto



una maniobra de ajuste progresivo de cabeceo del satélite junto con la desactivación selectiva de haces, SpaceX y Telesat confían en las capacidades orientables y moldeables de sus haces y el hecho de que múltiples satélites están dentro de línea de vista para los usuarios en el Ecuador. En todos los casos, el objetivo es garantizar que los haces LEO no estén alineados con los haces de satélites GEO, de modo que se mantenga una separación angular mínima entre haces (ángulo de discriminación mínimo).<sup>[76]</sup>



Para los eventos en línea con los satélites N GEO-N GEO, dadas las asignaciones de frecuencia propuestas, puede ocurrir interferencia entre los haces de usuario de enlace descendente de OneWeb y SpaceX, así como entre los haces de los *gateways* de OneWeb, SpaceX y Telesat (ambos enlaces ascendentes y descendentes) <sup>[76]</sup>

Además, dado que Telesat es un sistema exclusivo de banda Ka, sus haces de usuario también pueden interferir con los haces de puerta de enlace de los otros sistemas. En los casos de eventos en línea de N GEO a N GEO, ambas compañías deberán coordinarse para mitigar la interferencia, utilizando diferentes canales de frecuencia en el mismo lugar, deshabilitando haces o dividiendo el espectro. Si bien Telesat y SpaceX tienen mecanismos de diseño para evitar interferencias (por ejemplo, múltiples satélites en línea de vista, haces direccionables y formables, canalización dinámica de ancho de banda), el diseño de OneWeb carece de esa flexibilidad y, por lo tanto, solo puede tener un papel pasivo en el proceso de coordinación. <sup>[76]</sup>

La gran cantidad de satélites en las megaconstelaciones imponen nuevos desafíos operativos en términos de prevención de colisiones y eliminación al final de la vida útil. En ese sentido, la infraestructura terrestre deberá monitorear, rastrear y ordenar continuamente cientos de satélites, así como coordinarse con otras agencias y organizaciones con naves espaciales volando en órbitas similares (que pueden presentar un riesgo de colisión). Además, dado que la telemetría, el estado interno y las señales de estado de la red de cientos de satélites N GEO necesitarán ser monitoreados continuamente, se requerirá un grado de automatización más alto que los sistemas de vanguardia actuales. <sup>[76]</sup>

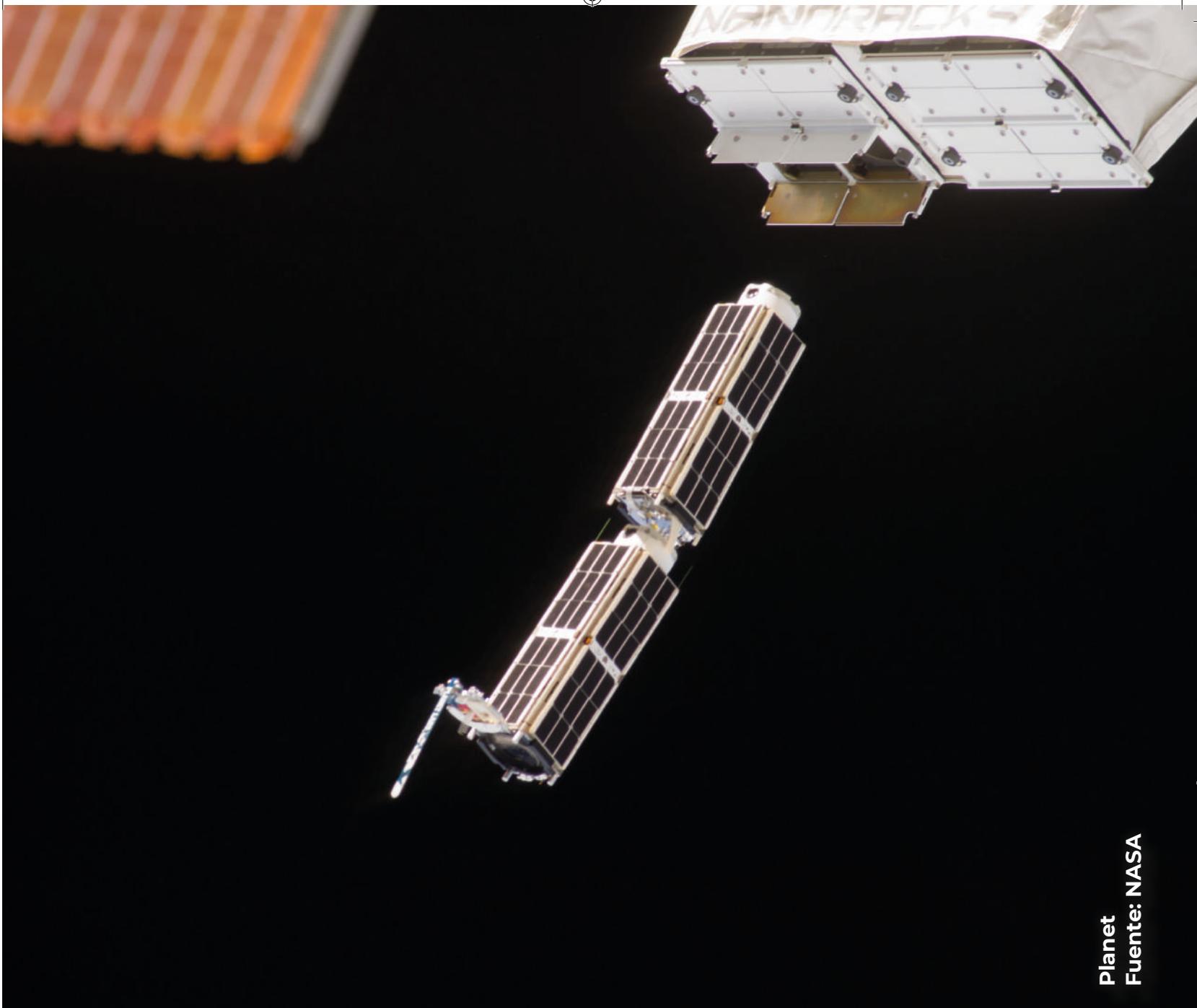
Dado el entorno cambiante de ritmo rápido (posición orbital, interferencia de otros sistemas, demanda del usuario, atenuación atmosférica, etc.) y la gran cantidad de haces y satélites involucrados, será necesario desarrollar algoritmos avanzados de gestión dinámica de asignación de recursos (DRM). <sup>[76]</sup>

Además, dado que múltiples satélites en una constelación tendrán que coordinarse (es decir, garantizar la cobertura de todos los usuarios sin causar interferencia a satélites externos), algunos de estos algoritmos DRM deberán ejecutarse en un centro de control que tenga conocimiento del estado interno de cada satélite y también una visión general de todo el estado de la constelación. Luego se necesitará ejecutar otro conjunto de algoritmos DRM localmente a bordo de cada satélite para manejar el entorno cambiante de los satélites. [76]

Las terminales de usuario a un precio asequible, capaces de rastrear los satélites LEO, son un componente clave para una adopción generalizada y crucial para el éxito empresarial de los tres sistemas antes mencionados. En el pasado, las redes de banda ancha LEO requerían costosas terminales compuestas de antenas direccionables (a menudo un par de ellas para garantizar una cobertura continua), que limitaban su adopción a solo un grupo de clientes de alto poder adquisitivo, principalmente en el mercado de las empresas. [76]

Las antenas de panel plano con dirección eléctrica son una tecnología prometedora en este campo, aunque todavía no está claro si esta tecnología estará disponible a los precios deseados cuando las constelaciones comiencen a prestar servicio. Con respecto al diseño de las terminales de usuario para cada uno de los sistemas, las terminales compatibles con Telesat presentan los requisitos más estrictos, ya que sus antenas necesitarán operar en ángulos de elevación tan bajos como  $20^\circ$  (frente a  $40^\circ$  y  $55^\circ$  para SpaceX y OneWeb, respectivamente). [76]





Planet  
Fuente: NASA

# CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA EN OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

# V.

## CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA EN OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

### 5.1 Antecedentes

Desde la década de los setenta, se han desarrollado diferentes modelos de observación de la Tierra por satélite que han traído cambios significativos en los paradigmas de adquisición de imágenes y aplicaciones de percepción remota. De estos modelos destacan <sup>[97]</sup>:

- a) Datos públicos con Landsat en los Estados Unidos (1972).
- b) Desarrollo del mercado comercial iniciado por Spot Image (1986) y luego por Digital Globe (1997).
- c) Apoyo gubernamental a empresas privadas mediante contratos de arrendamiento a grandes comercializadoras de imágenes: Digital Globe respaldado por la Agencia Nacional Geoespacial (NGA).
- d) Desarrollo de sistemas duales (civil/militar): Cosmo Skymed (2007) y Pleiades (2003).
- e) Desarrollo de satélites compartidos y constelaciones virtuales: Disaster Monitoring Constellation (DMC) en 2002.
- f) La llamada era del “Nuevo Espacio” y el reciente desarrollo de las constelaciones nanosatelitales de observación de la Tierra: Planet Labs en 2010.

Además, también es importante señalar los datos abiertos proporcionados por flotas/constelaciones satelitales comprendidas por diversos sensores especializados como lo hace Copernicus desde 2014.

De este modo, se puede tomar como punto de referencia la constelación de Planet Labs, para demarcar el antes y el después de la tecnología satelital aplicada a la observación de la Tierra. Es así como, durante el desarrollo de este análisis, se establece un nuevo marco de referencia, el cual considera las constelaciones lanzadas antes del año 2010 como previas al nuevo paradigma de desarrollo satelital de nuestro presente.

En la tabla 21 se muestran las principales características de los programas mencionados, los cuales pueden considerarse como antecedentes de las constelaciones LEO que están siendo puestas en órbita en la actualidad.

**Tabla 21.**

Satélites dedicados a la observación de la Tierra basados en los modelos anteriores al “Nuevo Espacio”.

SATÉLITE	SISTEMA	# SATÉLITES	MASA [KG]	ÓRBITA	BANDAS ESPECTRALES	RESOLUCIÓN ESPACIAL MÁXIMA [M]	TIEMPO DE REVISITA [DÍAS]	AÑO DE OPERACIÓN
Landsat	Flota	8	>1500	705 km; 98.2°	RGB NIR SWIR TIR	15	10	1972- actualidad
SPOT	Flota	7	>700	700 – 800 km SSO	RGB NIR	1.5	1 (Spot 6-7)	1986- actualidad
Digital Globe (WorldView)	Flota	4	>2500	500 km; 97.2°	RGB NIR SWIR	0.25	1.7	2007- Actualidad
Cosmo SkyMed	Constelación	4	>1700	620 km; 97.8°	SAR	<1	<0.5	2007- actualidad
Pleiades	Constelación	2	1000	694 km; 98.2°	RGB NIR	2.8	1	2011- actualidad
DMC	Constelación	5	>70	690 km; 98°	RGB NIR	32	<3	2002- 2012
Copernicus (Sentinel)	Flota	6	>1100	700-800 km SSO	SAR VNIR NIR SWIR	10	5	2014- actualidad

Así mismo, en la figura 36 se muestra la resolución espacial de diversos satélites de observación de la Tierra, bajo los modelos previos a Copernicus y a la era del nuevo espacio, puestos en operación entre 1999 y 2015.

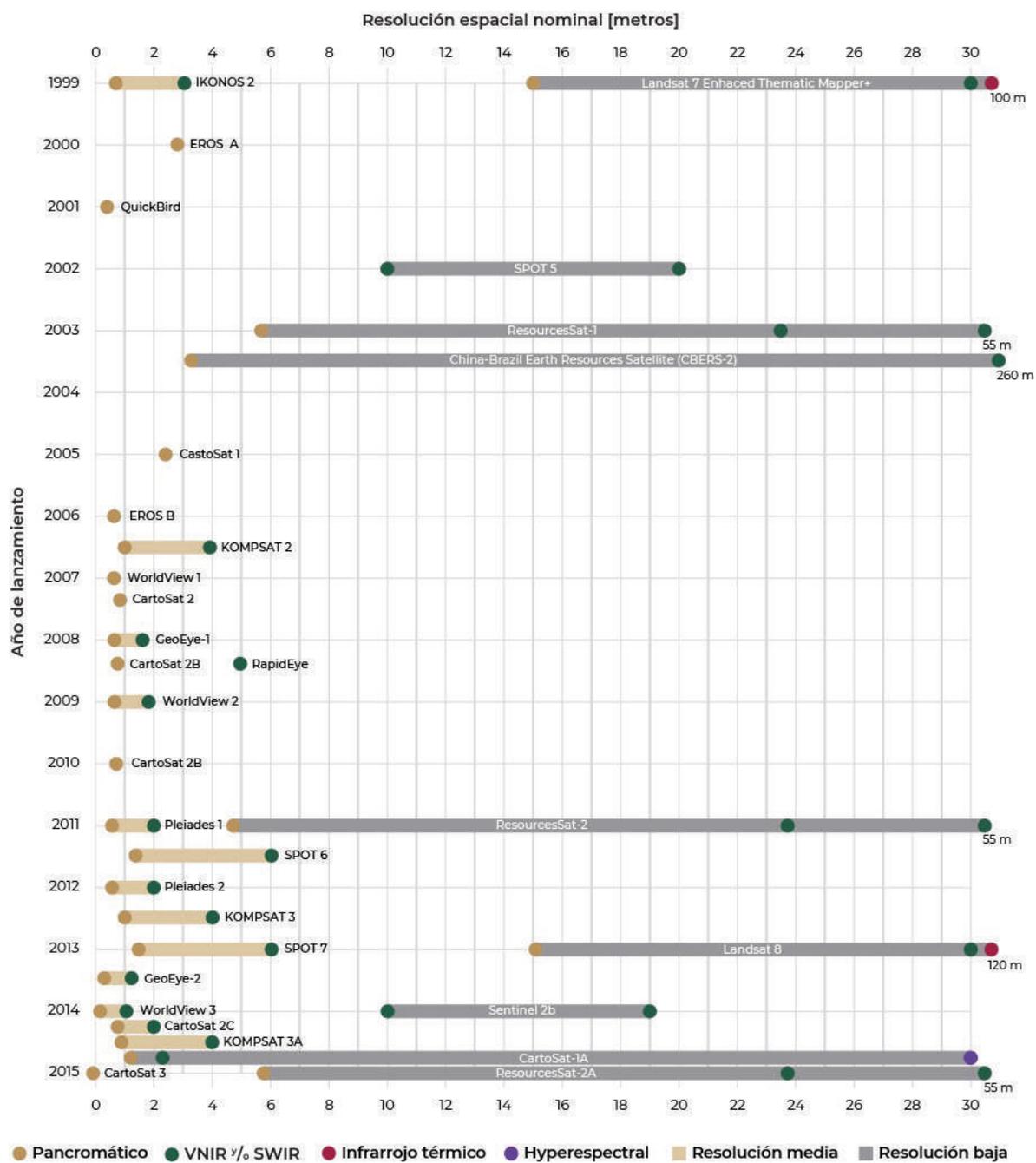


Figura 36. Resolución máxima y mínima de diversos sistemas de percepción remota de 1999 a 2015. [98]



### 5.1.1 Antecedentes en México

A pesar de que México no ha contado con algún sistema de observación terrestre satelital, en los últimos años se han establecido iniciativas de colaboración para el desarrollo tecnológico de los mismos. A continuación se describen brevemente algunas de estas iniciativas.

#### A) Airbus

En 2015 la Agencia Espacial Mexicana entra en contacto con Airbus Defence & Space para el desarrollo de un sistema satelital de observación de la Tierra, en el cual se buscaba:

- Independencia y soberanía para la observación del territorio nacional
- Aplicaciones concretas de observación de la Tierra
- Medio de cooperación regional e internacional
- Desarrollo de capacitación industrial e institucional
- Programa de transferencia de tecnología

En este caso, Airbus sería responsable de gestionar y desarrollar dos satélites, con sensores multispectrales con una resolución espacial (GSD, Ground Sample Distance) de seis metros, diseñados para desempeñarse en una órbita heliosíncrona durante cinco años, y una estación terrena operando en banda X con un enlace de bajada de 310 Mbps.

El proyecto estaba planeado para desarrollarse a lo largo de 40 meses, sin embargo no fue continuado por razones presupuestales.

#### B) Lockheed Martin

En 2018 la Agencia Espacial Mexicana obtiene una propuesta por parte de Lockheed Martin, en la cual se establece la manufactura y puesta en órbita de seis satélites de observación terrestre para aplicaciones civiles y de seguridad. Los satélites propuestos, con una masa mayor a 100 kg, podían ubicarse en una órbita entre los 400 y los 600 km, alcanzando una resolución espacial de 1 m aproximadamente con sensores en la banda visible.

El tiempo de revisita de la constelación podría ser de 12 horas en una órbita de 450 km. Este proyecto tampoco fue continuado por razones presupuestales.



### C) Propuesta del Sistema Integral de Observación de la Tierra

Es un proyecto en desarrollo por parte de la AEM, cuyo objetivo es fortalecer el financiamiento para la recepción de telemetría, el procesamiento y la distribución de productos con valor agregado para la observación de la Tierra en México, considerando las siguientes acciones:

- Integración de un comité técnico especializado en observación de la Tierra, en el que participen AEM, INEGI, LANOT, SEMAR, SEDENA, SIAP, ECOSUR, SHCP y SCT, con el apoyo de representantes de las principales instituciones usuarias que utilizan percepción remota. Este comité sería responsable de proponer e instrumentar las políticas nacionales en percepción remota y conseguir el financiamiento para lograrlas.
- Fortalecer las estaciones terrenas como ERMEX, EVISMAR y LANOT y promover el acercamiento de las mejores opciones de proveedores de telemetría satelital, incluyendo tecnologías a las que aún no se tiene acceso.
- Identificar y fortalecer los centros de procesamiento con personal altamente capacitado y actualizado y favorecer la generación de información con valor agregado para su acceso a través de plataformas en la nube, priorizando productos para seguridad nacional, seguridad alimentaria, alerta temprana, atención a desastres naturales, agricultura, monitoreo forestal, recursos naturales y productos de uso frecuente y, solo en casos excepcionales, debido a su tamaño, considerar la distribución de imágenes satelitales con procesamiento básico.
- Garantizar la integridad y preservación de las imágenes y los productos generados con valor agregado.
- Asegurar que, a mediano plazo, México cuente con su propio sistema satelital para la observación de la Tierra, con un creciente contenido y participación de especialistas nacionales.

## 5.2 Situación actual

Como se observa en la figura 39, el otro gran mercado que abarcan los pequeños satélites es el de la percepción remota con fines de análisis geográfico, uso militar, meteorología, climatología y otros usos. La

percepción remota aplicada a la industria generalmente comprende tres mercados:

- Imágenes aéreas,
- Imágenes de satélite y
- Servicios de valor agregado, incluidos los sistemas de información geográfica (SIG).

En el campo de las imágenes por satélite, muchas empresas han planeado utilizar grandes constelaciones de satélites de observación de la Tierra, proponiendo nuevos paradigmas y nuevas visiones de la cadena de valor:

- Sistemas y segmentos terrestres más económicos.
- Menor costo. Confiabilidad y mayor tasa de reemplazo.
- Integración vertical y acceso al mercado masivo.
- Análisis de datos y entrega de productos ya procesados.
- Imágenes gratuitas en algunos casos.

Durante los últimos 30 años la resolución había sido una ventaja significativa para impulsar el negocio de la adquisición de imágenes satelitales. Esto se ejemplifica en la mejora de la resolución de 30 metros (Spot 1) a 31 cm (Worldview-4) de los sensores ópticos. Pero para los desarrolladores de estas nuevas constelaciones se establece como prioridad el tiempo de revisita (de 24 horas o menos) a través de múltiples satélites con sensores de resolución media o alta.

Es así como el advenimiento del *New Space*, aplicado a la observación de la Tierra, ha abierto la posibilidad a las tecnologías de pequeños satélites de establecerse como punto de referencia para las constelaciones presentes y futuras. En este marco, algunas empresas, como Skybox Imaging (hoy Terra Bella), creada en 2009, y Planet Labs (hoy Planet), fundada en 2010, Blacksky Global, UrtheCast y Spire, proponen constelaciones de varios satélites pequeños o medianos y de bajo costo. Su objetivo es proponer modelos operativos y de negocio revolucionarios con servicios rentables que combinen alta resolución y alto tiempo de revisita a un bajo costo.<sup>[99]</sup>

Durante el periodo de 2011 a 2017 más de 85% de los satélites de observación terrestre de más de 100 kg prestaron servicios a clientes gubernamentales, equilibrados entre aplicaciones civiles y militares. Por otro lado, desde 2014 y 2015, respectivamente, las constelaciones de Planet y Spire basadas en el estándar CubeSat, orientadas a aplicaciones comerciales, representaron más de 75% de los satélites lanzados por debajo de 100 kg.

El mercado de satélites de más de 100 kg está bastante fragmentado, con solo 15 fabricantes que han producido 4 satélites o más, y dominado por la Agencia Espacial China, Airbus Defence & Space y Lockheed Martin. Para micro y nanosatélites, el mercado está consolidado en gran medida por Planet (más de 300 satélites lanzados) y Spire (más de 110 satélites lanzados).



Figura 37. a) Número de satélites de observación de la Tierra mayores a 100 kg de 2011 a 2017  
 b) Número de Satélites de observación de la Tierra menores a 100 kg de 2011 a 2017. [100]

Planet ha puesto en órbita satélites CubeSat con una resolución espacial de entre tres y cinco metros. Aunque restringido en términos de rendimiento, en comparación con la resolución de 0.30 m de los mejores satélites comerciales, la característica principal proveída por estas nuevas iniciativas es el alto número de plataformas en órbita. Esto permite tiempos de revisita muy frecuentes y hace que los sensores espaciales sean mucho más reactivos que cuando se colocan solo en algunos satélites.

Terra Bella (Skybox Imaging antes de su adquisición por Google en 2014) ha planeado colocar en el espacio una constelación de alrededor de 24 satélites en los próximos años. Para 2016 ya se habían lanzado siete satélites (los cuatro últimos en septiembre de 2016). La masa de cada satélite es de alrededor de 100 kg y permite una resolución de aproximadamente 0.90 m, además de producir videos de corta duración.

Otra iniciativa en este campo es el desarrollo de una constelación para observación terrestre por parte de la compañía Spaceflight para su cliente BlackSky, que mediante el empleo del Bus SENTRY (masa aproximada de 50 kg) tiene un contrato para desarrollar 60 satélites a una altitud de 450 km. Gracias a su sistema de propulsión es capaz de mantenerse tres años en órbita.

UrtheCast, una firma canadiense con sede en Vancouver, planea servir al mercado gubernamental con sus ocho satélites ópticos y ocho de radar en preparación. Esta firma apunta a un arreglo de fase óptico de alta calidad y de radar con resolución de 0.5 - 5 m y 1 - 5 m, respectivamente.

Muchos otros proyectos han sido desarrollados, con diferentes combinaciones en cuanto al número de satélites, masa, complejidad y rendimientos. <sup>[97]</sup> Con base en el estudio realizado por la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos <sup>[71]</sup>, en la información contenida en Newspace Index, <sup>[101]</sup> se presenta en la tabla 22 una descripción técnica de las principales iniciativas de constelaciones de observación de la Tierra lanzadas entre 2012 y 2019. La selección se centra, principalmente, en operadores que ya han lanzado al menos un satélite.

**Tabla 22.**

Pequeños satélites dedicados a la observación de la Tierra lanzados entre 2012 y 2017.

PAÍS	COMPAÑÍA	CONSTELACIÓN	# SATÉLITES LANZADOS/ PLANEADOS	FACTOR DE FORMA/ MASA [KG]	RESOLUCIÓN [M]	TIEMPO DE REVISITA ESPERADO [HR]	AÑO DE OPERACIÓN
EUA	Planet	Flock/Dove	380/150	CubeSat 3U/ <10	3-5	<24	2013
China	Spacety	Indeterminado	18/480	CubeSat	20	<24	2018
EUA	Planet	Terra Bella / Skybox	15/24	120	0.9	<24	2013
China	Changguang Satellite Technology Company	Jilin	14	420	0.7-2.8	<24	2015
China	Zhuhai Orbita Aerospace	Zhuhai-1	12/10	Smallsat	1.98	<48	2017
Argentina	Satellogic	Ñusat	7/90	37	1	<24	2016
EUA	Spaceflight	Blacksky	5/60	44	1	<24	2016
EUA	Astro Digital	LandMapper/ CORVUS	5/25	10-20	2.5-22	24-96	2017
Finlandia	ICEYE	Indeterminado	5/18	Microsat	SAR	Indeterminado	2018
China	SpaceWill (SpaceView)	Indeterminado	5/16	560	0.5	24	2016
EUA	Planet	RapidEye	5/5	150	6.5	24	2008
China	ADASPACE	Indeterminado	4/190	Microsat CubeSat	Indeterminado	<24	2018
Japón	AxelSpace	GRUS	4/50	95	2.5	24	2017
Canadá	UrtheCast	UrtheDaily/ Optistar	4/24	300	0.75-5	24	2014
RU	Surrey	DMC3	3	350	1	24	2015
China	ZeroG Lab	Lingque	2/132	6U	4	<24	2019
RU	Alba Orbital	Indeterminado	2	PocketQube	Indeterminado	Indeterminado	2019
Polonia	SatRevolution	REC	1/1024	2U/6U	0.5	<24	2019
Japón	Canon	Indeterminado	1/100	Microsat		<24	2017
EUA	Hera systems	Indeterminado	1/50	12U	1	<24	2017
EUA	Capella Space	Whitney	1/40	Microsat	SAR 1	<6	2018
Japón	iQPS	Indeterminado	1/36	15	SAR	Indeterminado	2019
Finlandia	Reaktor Space	Indeterminado	1/36	2U/6U	20	<24	2018
Italia	OHB Italia	EAGLET	1/20	3U			2018
China	Qian Sheng	Indeterminado	1/20	Microsat	0.5-2	<1	2019
RU	Earth-i	Vivid-i	1/15	100 kg	Video	Indeterminado	2018
RU	Sen	EarthTV	1	16U	Video 4K	Indeterminado	2019

En la figura 38 se muestra la relación entre resolución espacial, masa y tiempo de revisita de algunos de estos proyectos satelitales.

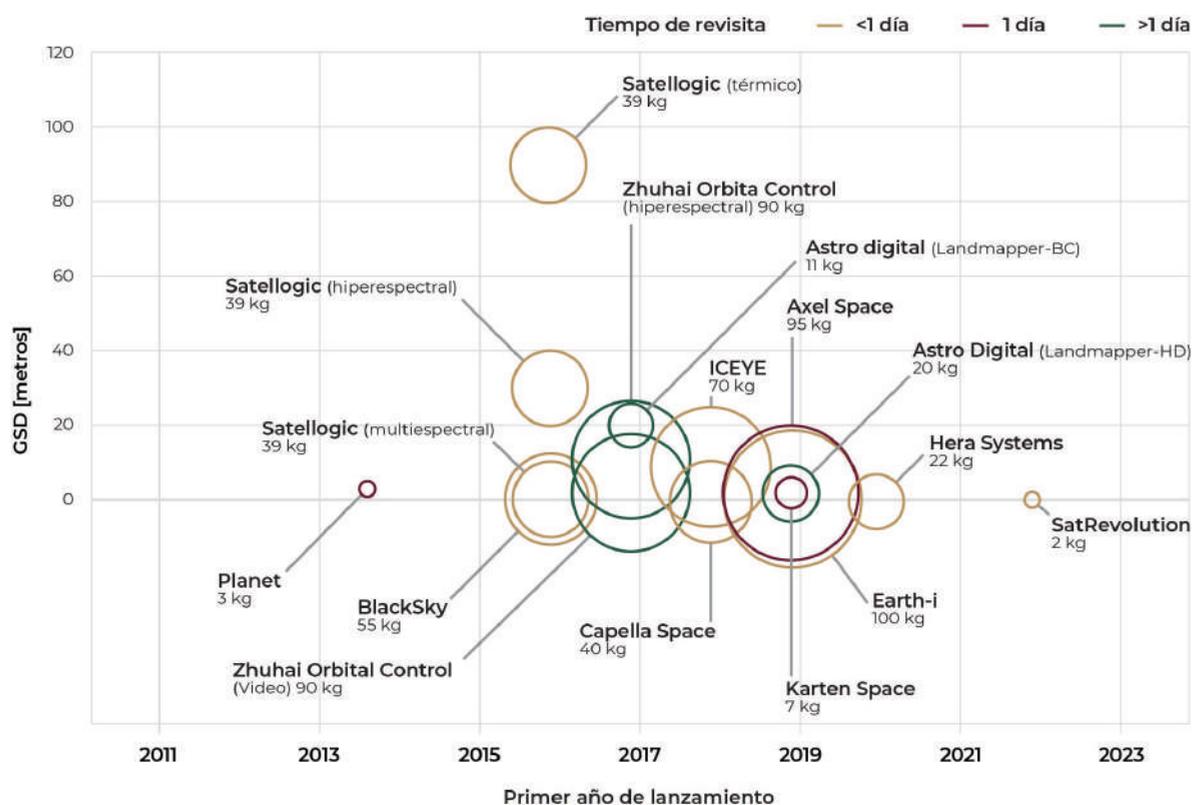


Figura 38. Resolución espacial, masa y tiempo de revisita de proyectos micro y nanosatelitales el primer año de su puesta en órbita. [102]

En junio de 2014, al adquirir Skybox Imaging por 500 millones de dólares, Google sorprendió a la industria satelital y a las empresas tradicionales. Esta adquisición resaltó el valor potencial económico de las constelaciones satelitales de bajo costo para la observación terrestre. La amenaza potencial fue considerada seriamente por los proveedores establecidos de servicios de percepción remota que comenzaron a adaptar su oferta y su organización. Para 2015 Planet y Urthecast recaudaron fondos suficientes para adquirir los activos espaciales de competidores establecidos como Blackbridge, reforzando su modelo de negocios con una constelación tradicional de satélites.<sup>[97]</sup> Posteriormente, en 2017, Planet adquiría Skybox Imaging, convirtiéndose en la constelación de observación de la Tierra con más capacidad tecnológica y comercial hasta el momento. En la tabla 23 se muestran algunas de las características técnicas de los satélites PlanetScope (Dove), una de las tres plataformas satelitales que conforman la constelación de Planet.

**Tabla 23.**

Características técnicas de la constelación CubeSat de Planet Labs.

CONSTELACIÓN PLANETSCOPE		
Parámetro	Estación Espacial Internacional	Órbita heliosíncrona
Órbita	400 km; 51.6°	475 km; 98°
Latitud con cobertura	±52°	±81.5°
Tiempo de pase por el Ecuador	Variable	9:30-11:30 am
Bandas espectrales	Blue: 455-515 nm Green: 500-590 nm Red: 590-670 nm NIR: 780-860 nm	
Resolución espacial (GSD)	3.0 m	3.5-4m
Tamaño del frame	20 km x 12 km	24.6 km
Área cubierta en una órbita	8100 km <sup>2</sup>	20 000 km <sup>2</sup>
Tiempo de revisita	Variable	1 día
Área capturada	Variable	340 millones km <sup>2</sup> /día
Rango dinámico	12 bit	12 bit



## 5.2.1 Proyección de la demanda

Desde una perspectiva muy amplia, el desarrollo de la observación de la Tierra está estrechamente vinculado a la digitalización mundial de nuestras sociedades, con un alto interés por la información, un número creciente de fuentes de datos y la necesidad de interoperabilidad, finanzas y economía, ecosistemas interconectados (gobiernos, industria, comercio) y, por último, cuestiones de seguridad y prestigio nacional.

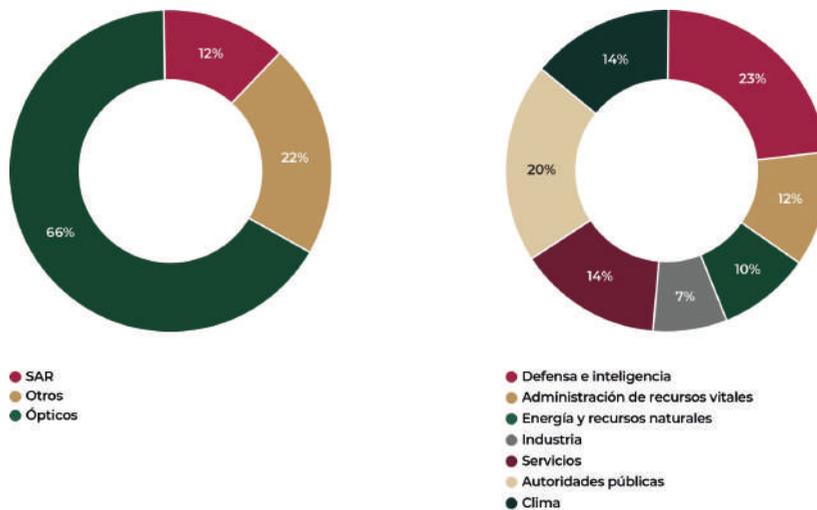
El panorama global del sector satelital dedicado a la observación de la Tierra se describe en los siguientes puntos: [73] [74] [97] [103]

- De 2012 a 2019 han sido desarrollados y puestos en órbita, por empresas privadas, más de 900 pequeños satélites a nivel global, de los cuales 68% han estado destinados a misiones de observación de la Tierra. Para el periodo 2020 a 2024 se proyecta que esta tendencia se mantenga y que los satélites de percepción remota abarquen un 45% de la cantidad total de satélites desarrollados con una masa menor a 50 kg.
- Se estima que podrían ser puestos en órbita entre 1 800 y 2 400 satélites por debajo de los 50 kg en los próximos 5 años. En este sentido, la cantidad de satélites dedicados a misiones de observación de la Tierra podría encontrarse entre los 800 y 1,100 proyectos satelitales.
- 50 países están invirtiendo en programas de observación de la Tierra.
- Particularmente, como se muestra en la tabla 22, entre los países con mayor efectividad al momento de desarrollar constelaciones de percepción remota se encuentran Estados Unidos, China, Argentina, Finlandia, Japón y Canadá.
- El monitoreo ambiental, la seguridad alimentaria y el cambio climático son las principales prioridades en las agendas políticas de diversos gobiernos a nivel global. Ejemplo de esto es la inversión que las principales agencias espaciales del mundo, como ESA, ASI, CNES, ISRO, JAXA, CONAE, NASA, han realizado en torno proyectos de percepción remota relacionados con estas aplicaciones durante los últimos años, como se detalla en la tabla 25.
- En 2025 se espera que el mercado de datos comerciales de observación de la Tierra alcance los 3 mil millones de dólares (6% TCAC en 2015-2025). El pronóstico actual del mercado para servicios de



valor agregado es de 5.3 mil millones de dólares para 2025 (5% TCAC).

- Regionalmente, Norteamérica seguirá siendo el primer mercado (previsión > 1 mil millones en 2024). Se espera que los mercados de Asia, América Latina (pronóstico de 350 millones en 2024) y África (65 millones en 2024) tengan fuertes perfiles de crecimiento. La gestión de recursos naturales, la ingeniería, la infraestructura y la defensa son las principales actividades que respaldan el crecimiento.
- Las nuevas regulaciones y la evolución de las restricciones ITAR (que apoyan la competitividad de la industria y los servicios de Estados Unidos) Impulsarán el mercado de datos de muy alta resolución (VHR, por sus siglas en inglés), haciendo que más operadores intenten abordar este mercado.
- El rubro de los sensores ópticos seguirá siendo predominante, sin embargo, se espera una demanda de 12% para tecnología SAR (radar de apertura sintética) para 2028, como se muestra en la figura 38.
- De igual modo, como puede verse en la figura 39, los segmentos con mayor utilización del mercado de observación terrestre serán inteligencia y defensa, entes gubernamentales y clima.
- Los conjuntos de datos abiertos y gratuitos que son brindados por diferentes agencias espaciales, como ESA con el programa Copernicus, proporcionan una gran cantidad de datos que pueden catalizar servicios de valor agregado y análisis de datos, pero también con un posible impacto en las ventas de datos de resolución media.



**Figura 39.** [103]  
a) Sensores de observación de la Tierra anunciados para 2028  
b) Mercado global de observación de la Tierra para 2028

## 5.3 Nuevas tecnologías

Existe un grupo de parámetros claves que conforman la base y determinan las capacidades de la tecnología de observación de la Tierra. La optimización de estos parámetros es, en principio, uno de los objetivos de los diferentes desarrolladores de satélites de percepción remota.

A continuación se enumeran y describen brevemente dichos parámetros: <sup>[104]</sup>

### A) Resolución espacial

La resolución espacial suele referirse al GSD (Ground Sampling Distance) o al tamaño de pixel de las imágenes obtenidas por percepción remota. GSD es el tamaño mínimo que se puede detectar de las características en el suelo observado. Existen varios estándares que se utilizan para representar la resolución espacial, y NIIRS (Escala Nacional de Clasificación de Interpretación de Imágenes) es uno de los esquemas ampliamente aceptados que explica varias características que se pueden distinguir en imágenes pancromáticas visibles en función de efectos como la resolución de pixeles, nitidez, ruido y contraste. Esta clasificación se muestra en la tabla 24.

Tabla 24.

Clasificación NIIRS.

CALIFICACIÓN NIIRS CIVIL	RESOLUCIÓN ESPACIAL
Nivel 1	(< 9 metros)
Nivel 2	(4.5-9 metros)
Nivel 3	(2.5-4.5 metros)
Nivel 4	(1.2-2.5 metros)
Nivel 5	(0.75-1.2 metros)
Nivel 6	(0.4-0.75 metros)
Nivel 7	(0.2-0.4 metros)
Nivel 8	(0.1-0.2 metros)
Nivel 9	(<0.1 metros)

El esquema NIIRS permite seleccionar la fuente correcta de imágenes según la aplicación. En la tabla 25 se muestra la resolución espacial alcanzada por diferentes satélites de observación de la Tierra.

**Tabla 25.**

Resolución espacial de diversos satélites de percepción remota.

SATÉLITE / INSTRUMENTO	RESOLUCIÓN [METROS]	PAÍS
Aqua & Terra/MODIS	250-1000	Estados Unidos
Terra/Aster	15, 30, 90	Estados Unidos-Japón
Landsat 1, 2, 5	30, 120	Estados Unidos
IRS-1/LISS	32	India
DMC	22	Reino Unido, Nigeria y Algeria
SPOT 1, 2, 3, 5	5, 10, 20	Francia
GMES Sentinel-2-a/2b	10, 20	Unión Europea
Rapid Eye (5 Satellites)	6.5	Alemania
IRS 1C-1D, RESOURCESAT-1	6	India
Planet Labs	3-5	Estados Unidos
Ziyuan-2	3	China
CBERS-2	2.7	China/Brasil
SPOT 5, 6	2.5, 1.5	Francia
Cartosat 1,2	2.5 y 1	India
THEOS	2	Tailandia
Dove (Skybox imaging)	1	Estados Unidos
Kompsat-1	1	Corea del Sur
Kompsat-3	<1	Corea del Sur
Jilin-1	0.75	China

Pleaidés 2A, 2B (Airbus)	0.7	Francia
Ikonos, QuickBird, WorldView-1, Geoeye-1, WorldView-2, WorldView-3	0.8, 0.6, 0.46, 0.41, 0.46, 0.3	EUA
Cartosat 3	0.25	India

## B) Resolución espectral

La resolución espectral se refiere al número de bandas espectrales y los rangos dentro del espectro electromagnético donde un determinado sensor es capaz de capturar información.

Las bandas espectrales más utilizadas son roja, verde y azul (RGB) en la parte visible del espectro, seguidas de una banda espectral en la región cercana al infrarrojo conocida como infrarrojo cercano (NIR). Además, la mayoría de estos sistemas normalmente tienen una banda pancromática de alta resolución que tiene un rango espectral cubriendo toda la parte visible del espectro y en algunos casos también extendiéndose a la banda NIR. La resolución espacial de la banda pancromática suele ser cuatro veces la resolución espacial de las bandas visibles y NIR (VNIR).

Los sensores espectrales se clasifican típicamente como multi, super o hiperespectrales. Las imágenes multiespectrales se refieren a sensores con menos de 10 bandas, la resolución superespectral incluye sensores que llevan de 10 a 20 bandas, y los sensores hiperespectrales suelen llevar cientos de bandas. A manera de ejemplo, en la tabla 26 se resumen las bandas espectrales empleadas por el satélite LandSat 8.

**Tabla 26.**

Bandas espectrales empleadas por el satélite LandSat 8. [105].

BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]
1-Aerosol	430-450
2-Azul	450-510
3-Verde	530-590

4-Rojo	640-670
5-Infrarrojo cercano	850-880
6- SWIR 1	1570-1650
7-SWIR 2	2110-2290
8- Pancromático	500-680
9-Cirrus	1360-1380
10-Térmico 1	10600-11190
11-Térmico 2	11500-12510

### C) Resolución radiométrica

Las propiedades radiométricas incluyen resolución radiométrica y rango dinámico. La resolución radiométrica de un sistema de imágenes describe su capacidad para distinguir diferencias muy leves en la energía medida. El rango dinámico especifica la relación del pixel de mayor energía al más bajo pixel de energía que se puede capturar.

Los sistemas más antiguos tenían un rango dinámico de 256:1. Para un sistema digital, estas mediciones se pueden almacenar como datos de 8 bits. Los sistemas modernos tienen rangos dinámicos entre 2048:1 (es decir, 11 bits) y 16384:1 (es decir, 14 bits).

La resolución radiométrica efectiva es de suma importancia para aplicaciones agrícolas, especialmente para modelar con precisión el estado de los cultivos y los problemas de salud en una etapa temprana, así como para identificar sutiles cambios en el suelo para cartografía de humedad y materia orgánica. Este incremento de capacidades ha resultado en una calidad de información superior de las imágenes y, posteriormente, la capacidad de extraer información de ellos con precisión y en un modo automatizado.

### D) Resolución temporal

La resolución temporal se caracteriza por la frecuencia de revisita de las plataformas satelitales en un lugar determinado en la Tierra. Las constelaciones de observación terrestre pueden proporcionar visitas diarias en todo el mundo.

Actualmente, el potencial de la capacidad global de los satélites de imágenes de muy alta resolución espacial (GSD <1 metro) es mayor

que 1.8 mil millones de kilómetros cuadrados por año, lo que corresponde a más de 12 veces la superficie terrestre. Esta capacidad podría aumentar potencialmente a más de 2.4 mil millones de kilómetros cuadrados por año (aproximadamente 16 veces la superficie de la Tierra) en un futuro próximo.

### 5.3.1 Tecnologías y tendencias futuras

Para la evolución tecnológica de los proyectos satelitales de percepción remota, serán requeridos diversos avances tecnológicos que permitan que las constelaciones satelitales puedan optimizar varios de los parámetros clave mencionados anteriormente y, al mismo tiempo, plantear un nuevo esquema de adquisición de imágenes satelitales basado en muy altas resoluciones y muy bajos tiempos de revisita.

Vislumbrándose así, como uno de los siguientes esquemas de la percepción remota, la disponibilidad continua, cercana al tiempo real, e incluso en formatos de video, desde prácticamente cualquier punto de la Tierra.

Para alcanzar estos hitos algunos de los avances tecnológicos necesarios son:

- Alta capacidad de almacenamiento a bordo del satélite de decenas de Tb
- Implementación de Radars de Apertura Sintética en microsátélites
- Alta resolución espacial en nano y microsátélites
- Inteligencia artificial aplicada en el procesamiento de imágenes a bordo
- Inteligencia artificial aplicada al análisis de datos en tierra
- Comunicación láser espacio-tierra en satélites pequeños
- Capacidades de almacenamiento y descarga de video en ultra alta definición para satélites pequeños

A continuación se hace una breve reseña de algunos de estos hitos tecnológicos:

## Alta capacidad de almacenamiento a bordo del orden de decenas de Tb

La adquisición de imágenes de alta resolución o de video en tiempo real impacta directamente en los requerimientos de capacidad de memoria a bordo de los satélites de observación de la Tierra. Actualmente diversos proyectos satelitales enfocados a la percepción remota ya alcanzan capacidades de almacenamiento del orden de los Tb, como se muestra en la tabla 27, y se estima que la próxima generación de aplicaciones requerirá de cargas útiles y sistemas satelitales capaces de almacenar información a bordo del orden de las decenas de Tb. [106]

**Tabla 27.**

Capacidad de almacenamiento de diversos proyectos satelitales de observación terrestre [107].

SATÉLITE	AÑO DE LANZAMIENTO	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Landsat 7	1999	378 Gb
Landsat 8	2013	4 Tb
Sentinel 2	2015	2.4 Tb
Worldview-4	2016	3.2 Tb
SkySat (Planet)	2016	2.8 Tb

Por lo general, el almacenamiento a bordo de este tipo de proyectos se resuelve utilizando tecnologías de memoria SDRAM o NAND, siendo esta última una de las opciones con mayor potencial de resolver las necesidades de almacenamiento futuras. Como punto de referencia, para alcanzar una capacidad de 1 Tb de almacenamiento se necesitarían 64 memorias DDR3 SDRAM, cada una con 16 Gb de capacidad, con un costo total de 650 000 dólares, y un incremento importante en el tamaño, complejidad y consumo de potencia del sistema, lo cual la hace una tecnología prácticamente no viable. Por otro lado, las memorias del tipo NAND flash son una tecnología con mayor densidad de memoria y con mejores características de desempeño que las SDRAM. La tabla 28 compara estas dos tecnologías en relación con el Tb de almacenamiento. [106]

**Tabla 28.**

Requerimientos de las tecnologías SDRAM y NAND para alcanzar 1 Tb de almacenamiento. [106] [108]

PARÁMETRO	SDRAM DDR3 16 GB	NAND 256 GB
Número de dispositivos	64	4
Dimensiones [mm <sup>3</sup> ]	152 320	16 796
Disipación de potencia	17 W/17 W	13.2 mW/5.2 W
Costo aproximado [USD]	650 000	30 000
Velocidad de almacenamiento [MB/s]	2 667	100

Mientras que la próxima generación de tecnología SDRAM aún esté en desarrollo, la tecnología NAND se postula como la única alternativa capaz de proveer capacidades de almacenamiento del orden de los Tb a un costo de adquisición y de potencia relativamente económicos que permitirían la explotación y desarrollo de las futuras aplicaciones de observación de la Tierra.

Como punto de comparación final, se presenta la tabla 29 mostrando los requerimientos de almacenamiento del satélite Sentinel-2A y los diferentes parámetros derivados del empleo de las tecnologías SDRAM y NAND para dar solución a los mismos.

**Tabla 29.**

Requerimientos de almacenamiento de Sentinel 2-A y las implementaciones de memoria propuestas. [109]

PARÁMETRO	REQUERIMIENTO	NAND-FLASH	SDR-SDRAM
Capacidad de almacenamiento	2.4 Tbit (fin de vida útil)	6 Tbit (inicio de vida útil)	2.8 Tbit (inicio de vida útil)
Número de módulos de memoria	N/A	3	11
Masa	≤ 29 kg	< 15 kg	< 27 kg
Volumen máximo	710 mm x 260 mm x 310 mm	345 mm x 240 mm x 302 mm	598 mm x 240 mm x 302 mm
Potencia (escritura y lectura)	≤ 130 W	< 54 W	< 126 W

Potencia (almacenamiento)	N/A	< 29 W	< 108 W
Tasa de datos (entrada)	490 Mbit/s (carga útil) + 80 kbit/s (telemetría)		
Tasa de datos (salida)	2 x 280 Mbit/s		
Tiempo de vida en órbita	12.5 años		
Confiabilidad	≥ 0.98	0.988	> 0.98
BER/día	≤ 9 x 10 <sup>-13</sup>	5.9 x 10 <sup>-14</sup>	< 9 x 10 <sup>-13</sup>

### Implementación de radares de apertura sintética en microsátélites

Los sistemas de radares de apertura sintética proporcionan una herramienta atractiva y de mucha utilidad para aplicaciones de observación de la Tierra en situaciones en las que los sistemas ópticos convencionales no pueden utilizarse de manera eficiente, por ejemplo, durante la noche o en áreas con poca iluminación, tales como las zonas polares, o en áreas con presencia de nubes o neblina. Los satélites SAR también se pueden utilizar en algunos casos para penetrar en el follaje, el suelo o el agua utilizándose en aplicaciones diversas como arqueología, rastreo y detección de embarcaciones, monitoreo de derrames de petróleo, administración forestal, monitoreo de recursos naturales, monitoreo de fronteras, mitigación de desastres naturales, agricultura, monitoreo de cultivos y humedad de suelo, entre otros. [110]

Tradicionalmente, estos sistemas de radar han requerido satélites relativamente grandes para su implementación, debido a diversas razones entre las que se encuentran:

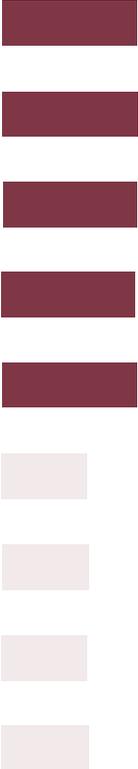
- En primer lugar, como sistema activo de observación de la Tierra, la cantidad de potencia de transmisión de radiofrecuencia es alta, en el rango de kilowatts, lo que lleva a diseños en los que esa potencia se proporciona directamente desde paneles solares.
- En segundo lugar, el diseño de sistemas satelitales tiende a impulsar soluciones hacia antenas de grandes dimensiones.
- Además, hasta hace muy poco, sólo las principales agencias gubernamentales habían desarrollado satélites con este tipo de tecnología, por lo que sus necesidades científicas o nacionales requerían que estos sistemas tuviesen altos niveles de rendimiento y redundancia.

La tabla 30 muestra que los proyectos satelitales SAR tradicionales han tenido masas alrededor de los 800 y 4 000 kg, siendo pocos los satélites por debajo de los 300 kg, destacando, en los últimos años, algunos proyectos microsatelitales como IceEye-1, Capella o RainCube. [11]

**Tabla 30.**

Proyectos satelitales tipo SAR y su masa.

SATÉLITE	AÑO DE LANZAMIENTO	MASA [kg]	BANDA
ERS-1/2	1991/1995	2384	C
RadarSat-1	1995	2200	C
SARLupe	2006	770	X
ALOS-1	2006	4000	L
TerraSAR-X	2007	1230	X
RadarSAT-2	2007	2200	C
Cosmo-Skymed	2007	1700	X
TecSAR	2008	300	X
Tandem-X	2010	1340	X
HJ-1c	2012	890	S
RISAT-1	2012	300	X
KompSat-5	2013	1400	X
Sentinel-1a/b	2014/2016	2300	C
ALOS-2	2014	2120	L
IceEye-1	2018	80	X
NovaSAR-1	2018	450	S
Capella	2018	40	X
RainCube	2018	12	Ka
Paz	2018	1350	X



A medida que los sistemas SAR se vuelven más populares entre las empresas comerciales que se enfocan a las aplicaciones de análisis de datos, existe una gran oportunidad para una variedad de propuestas que utilizan satélites pequeños con tecnología SAR para abordar algunos mercados específicos. Estos sistemas requerirán cargas útiles SAR de bajo costo, donde sus características estén adaptadas al mercado específico a atacar, en lugar de ser proyectos de propósito general, como lo han sido los lanzados bajo el auspicio de diversas agencias espaciales. [111]

Dependiendo de las necesidades de observación de la Tierra que se tengan en un futuro, es posible que sea necesario desplegar satélites pequeños con sensores tipo SAR en constelaciones de varios planos para observar diversos objetivos en diferentes momentos del día. Sin embargo, el diseño de microsátélites SAR es muy complejo y también desafiante en función de los requisitos de carga útil y el diseño en sí de los subsistemas asociados por lo que se presenta como un reto importante de cara a la siguiente generación de aplicaciones de percepción remota.

### **Alta resolución espacial en nano y microsátélites**

Como se mencionó anteriormente, uno de los parámetros con más importancia dentro de la gama de características de una imagen satelital es su resolución espacial. Conforme las aplicaciones se hacen más específicas y los servicios de análisis y aprovisionamiento de datos aumentan, la necesidad de contar con una mayor resolución espacial dada por los instrumentos de observación terrestre también lo hace.

Aplicaciones como el monitoreo de suelos y mares, topografía, agricultura de precisión, defensa, gestión forestal, infraestructura urbana, monitoreo de recursos, mitigación de desastres, desarrollo urbano, minería, entre otros, se ven directamente potencializadas conforme la resolución espacial de las imágenes incrementa.

A la fecha, las soluciones de resoluciones menores a 1 metro/píxel se encuentran mayoritariamente dadas por satélites pequeños y medianos por encima de los 600 kg. De manera usual, este tipo de resoluciones son características de las imágenes pancromáticas capturadas por los satélites que, combinadas y procesadas con imágenes multiespectrales de resoluciones más bajas, pueden proveer imágenes dentro de las bandas visible e infrarroja con resoluciones menores a un metro.

Para la nueva generación de aplicaciones de observación de la Tierra, el poder contar con estos valores de resolución espacial en constelaciones o conjuntos importantes de satélites será uno de los retos tecnológicos que tendrán que resolverse. Para ello, la optimización de la resolución espacial de las plataformas nano y microsatelitales será uno de los puntos clave a resolver.

Como se observa en la tabla 31, son pocas las soluciones de observación terrestre con resoluciones menores a un metro por debajo de los 200 kg. Planet, con sus múltiples plataformas y constelaciones satelitales, es al día de hoy una de las empresas más importantes de la percepción remota a nivel global. Por otro lado, la empresa argentina Satellogic está estableciendo el camino para que la tecnología microsateles se establezca como una de las más capaces al combinar alta resolución espacial y baja masa, lo que conlleva una ventaja en el costo de desarrollo de su futura constelación: Aleph-1.

**Tabla 31.**

Resolución espacial y masa de proyectos microsateles.

SATÉLITE/INSTRUMENTO	RESOLUCIÓN [METROS] PAN / MS	MASA [kg]	PAÍS
Rapideye (Planet)	6.5 (MS)	150	EUA
PlanetScope (Planet)	3.7 (MS)	5	EUA
Cartosat 2C	0.65/2	680	India
THEOS	2/15	750	Tailandia
Ñusat (Satellogic)	1/1	37	Argentina
Ikonos	0.8/3.2	820	EUA
Jilin-1 02B	0.75/3	420	China
Kompsat 3	0.7/2.8	980	Corea del Sur
Pleaidés 2A, 2B	0.7/2.8	940	Francia
QuickBird-2	0.6/ 2.4	1100	EUA
Skysat (Planet)	0.5/1	110	Estados Unidos
WorldView-1	0.46/2	2500	EUA
Geoeye-1	0.41/1.64	1950	EUA
WorldView-2	0.46/1.8	2800	EUA

WorldView-3	0.3/1.24	2800	EUA
Cartosat 3	0.25/1.14	1620	India
WorldView-4	0.25/1	2100	EUA

## 5.4 Equipo terrestre

La expansión de los servicios y aplicaciones satelitales guiados por el New Space ha generado que la cantidad de datos adquiridos por las diferentes constelaciones satelitales tenga un incremento considerable en relación con los esquemas tecnológicos anteriores, mostrados en la tabla 21.

El número de imágenes capturadas por el gran número de satélites en órbita LEO tiene como ventaja la posibilidad de poder observar la totalidad del globo terráqueo, con una resolución espacial de tres a cinco metros, cada día. Este incremento en el área de captura también ha impactado directamente a la manera de solucionar la descarga de datos en tierra, llevando a generar la necesidad de tener múltiples enlaces de bajada distribuidos en diversas localidades alrededor del mundo, contando cada uno de estos con antenas capaces de sostener una tasa de datos del orden de los Mbps.

En el anexo I se muestra una tabla donde se hace una comparativa de los proyectos satelitales mencionados anteriormente en relación con sus bandas espectrales, resolución espacial, ancho de barrido (swath) alcanzado, tiempo de revisita y parámetros generales de los enlaces de comunicación empleados para la descarga de imágenes, y su sistema de telemetría y comando.

De esta forma se puede puntualizar que el equipo terrestre necesario para una constelación satelital de observación de la Tierra debe de contar con las siguientes características para poder cumplir con la demanda de datos requerida de manera exitosa:

- Múltiples estaciones terrenas.
- Diversas localidades en diferentes latitudes.
- Enlaces de subida y bajada de TT&C del orden de los Kbps, generalmente dentro de la banda S.
- Enlace de bajada dedicado a la carga útil del orden de 100 a 400 Mbps, generalmente dentro de la banda X.
- Modulación QPSK/8PSK.

### 5.4.1 Estaciones terrenas bajo demanda

Existen diversas empresas que cuentan con una infraestructura terrestre mediana o ampliamente desarrollada a nivel global y que brindan, como producto, el acceso a diversas estaciones terrenas tanto para el enlace de subida como de bajada de acuerdo con las necesidades de los proyectos satelitales de sus clientes. Este tipo de servicio es conocido como Ground Station as a Service (GSaaS), el cual basa su modelo de negocio en la renta de estaciones terrenas por lapsos de tiempo compartido que pueden ir desde un minuto hasta horas con una disponibilidad 24/7/365.

Una de las primeras empresas en otorgar este tipo de esquema fue Konsberg Satellite Services (KSAT), a partir de 1968, siendo en la actualidad una de las compañías con mayor capacidad al contar con más de 200 antenas distribuidas en 24 localidades a nivel mundial. Así mismo, el incremento exponencial en la cantidad de información manejada por los nuevos proyectos de constelaciones satelitales y en la demanda al acceso de estaciones terrenas de manera continua ha provocado que en los últimos años el surgimiento de nuevas empresas enfocadas a este tipo de servicio sea más y más común. De este modo, actores del sector privado, como Amazon, han comenzado a invertir y desarrollar redes de estaciones terrenas, compatibles con diversas frecuencias de operación y esquemas de modulación, para sumarse a las diversas compañías incursionando en este nicho de mercado.

En la tabla 32 se enlistan algunas de las empresas antes mencionadas, así como sus principales características.

**Tabla 32.**

Características generales de empresas GSaaS.

EMPRESA	PAÍS	AÑO	SITIOS	ANTENA	UHF/ VHF	L	S	C	X	Ku	Ka	LÁSER
KSAT	Noruega	1968	24	200+								
Libre Space Foundation (SatNOGS)	Grecia	2014	200+	200+								
RBC signals	EUA	2015	47	60+								
Swedish Space Corporation	Suecia	1972	10	20+								
Stellar Station	UK Japón	2016	20	20+								

Atlas Space Operation	EUA	2015	9	20+	📡		📡		📡			
Leaf Space	Italia	2014	4	8+	📡		📡		📡			
Contec	Corea	2015	6	6+	📡		📡		📡			
AWS Amazon	EUA	2016	2	5+	📡		📡		📡			
Bridge Comm	EUA	2015	1	1								📡

Al contar con diferentes antenas ubicadas en puntos clave a lo largo del mundo, el tiempo de acceso para un satélite en órbita LEO es optimizado y llevado, incluso, a dos accesos por cada pase orbital en el caso de contar con estaciones terrenas ubicadas cerca de los polos, como es el caso de KSAT, la cual cuenta con un par de centros de operación proveídos de diversas antenas, una base en Svalbard ubicada a 78° N y otra en la Antártica, TrollSat, a 72° S. En la figura 40 se muestra un mapa de estas estaciones de las que destacan Svalbard en Noruega y TrollSat en la Antártica.

De este modo, empresas de observación terrestre satelital, como Planet Labs o Spire, y diferentes agencias espaciales han complementado su propia infraestructura terrena con las antenas brindadas por diversas de estas compañías aumentando así la cantidad de imágenes adquiridas, así como optimizando el tiempo de adquisición de las mismas.



Figura 40. Distribución de las diferentes estaciones terrenas de la compañía KSAT, el principal proveedor de GSaaS. [112]

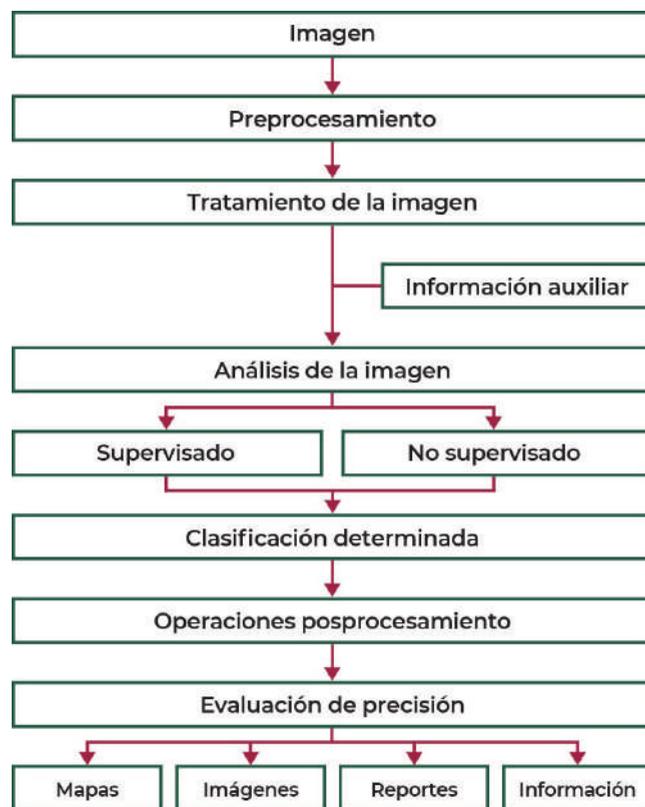
## 5.5 Procesamiento de datos

El principal objetivo del procesamiento de una imagen digital es la extracción de información y la mejora de su calidad visual para hacerla más fácilmente interpretable por un analista o algún sistema autónomo. Para construir una aplicación de percepción remota se debe desarrollar una metodología de procesamiento de los datos adquiridos que haga posible generar el resultado esperado. Antes de analizar las imágenes, estas deben de ser corregidas geométrica y radiométricamente. Esta fase de procesamiento, denominada preprocesamiento, es fundamental principalmente en aplicaciones donde las imágenes se adquieren de diferentes sensores y en diferentes momentos. Después de esta fase las imágenes se mejoran para facilitar la extracción de información. Finalmente, las imágenes se segmentan y clasifican para producir un mapa temático digital. [113]

Para cada aplicación de percepción remota se debe de desarrollar una metodología de procesamiento específica. La figura 41 ilustra los pasos principales del procesamiento de imágenes digitales que definen la secuencia de operaciones, en general, adoptada para construir una de estas metodologías.

La fase de preprocesamiento consiste en aquellas operaciones que preparan los datos para un análisis posterior que intenta corregir o compensar los errores sistemáticos presentes en las imágenes satelitales. Las técnicas de preprocesamiento comunes incluyen la corrección atmosférica, el filtrado de ruido, la calibración del detector, la corrección geométrica y el registro de imágenes. [114] Una vez finalizado el preprocesamiento, un analista puede utilizar técnicas de realce para mejorar los objetos de interés, así como técnicas de extracción para reducir la dimensionalidad de los datos y facilitar su interpretación.

El proceso de extracción intenta obtener la información más útil de los datos para su posterior estudio. Esta fase reduce el número de variables que deben examinarse, ahorrando tiempo y recursos. Las operaciones de realce se llevan a cabo para mejorar la interpretabilidad de la imagen aumentando el contraste aparente entre varias características de interés para facilitar la tarea de extracción de información. Las técnicas comunes de realce y extracción de características incluyen ajustes de contraste, racionamiento de bandas, filtrado espacial, fusión de imágenes, modelo de mezcla lineal, análisis de componentes principales y realce de color. [115]



**Figura 41. Principales etapas del procesamiento de imágenes para la percepción remota.** [113]

Después de los pasos de preprocesamiento y realce, los datos de detección remota se someten a análisis cuantitativos para asignar píxeles individuales a tipos o clases específicas de superficie de terreno. La clase identifica el tipo de superficie, agua, vegetación, tierra, por ejemplo. Los píxeles se identifican en función de sus propiedades o atributos numéricos. Esta fase se puede realizar analizando las propiedades de cada píxel (por píxel) o grupo de píxeles (región). En este último caso, la imagen se segmenta en primer lugar en un conjunto de regiones que pueden describirse mediante un conjunto de atributos (área, perímetro, textura, color, información estadística). Este conjunto de atributos se utiliza para caracterizar e identificar cada objeto en la imagen. Esta operación de reconocer objetos en la imagen se llama clasificación de imágenes y da como resultado mapas temáticos. [116]

Después de la clasificación, es necesario evaluar su precisión comparando las clases en el mapa temático con las áreas de identidad conocidas en el terreno (mapa de referencia). Este mapa de referencia se crea utilizando información adquirida directamente en tierra mediante un trabajo de campo. Finalmente, la etapa de postprocesamiento se puede realizar empleando diversas plataformas,

tales como los sistemas de información geográfica. Estos últimos son una colección de herramientas informáticas para organizar información de una variedad de fuentes de datos para mapear y examinar cambios en la Tierra. Están diseñados para capturar, almacenar, administrar, analizar y visualizar todo tipo de datos geográficos y permitir la integración y el análisis colectivo de los datos de percepción remota. La tecnología SIG integra operaciones de bases de datos comunes, como consultas y análisis estadístico, con mapas e información geoespacial. El SIG gestiona la información basada en la ubicación y proporciona herramientas para la visualización y el análisis de diversas estadísticas, incluidas las características de la población, las oportunidades de desarrollo económico y los tipos de vegetación. Los datos adquiridos en las etapas anteriores, integrados dentro de un SIG, pueden visualizarse, manipularse y analizarse para obtener información especializada de las imágenes adquiridas por los satélites. [117]

En relación con la era del New Space, actualmente hay diversas empresas enfocadas a brindar servicios de análisis y procesamiento de imágenes satelitales obteniendo provecho de la visión computacional y las tecnologías "machine learning". El procesamiento y análisis de estos datos de percepción remota enriquece la información topográfica y geoespacial disponible y permite brindar productos como predicciones económicas y monitoreo ambiental de áreas terrestres y marinas. [118]

Entre los nuevos participantes en este mercado, Orbital Insight, Descartes Labs, SpaceKnow y Earth Cube destacan por sus servicios de rastreo y monitoreo de reservas de petróleo, motores de búsqueda de imágenes satelitales, algoritmos predictivos del sector industrial y procesamiento de imágenes utilizando inteligencia artificial, respectivamente. [119] [120] [121] [122]





Deimos Teotihuacán  
Fuente: DEIMOS Imaging

# ESTADÍSTICAS DE LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN MÉXICO

## VI.

# ESTADÍSTICAS DE LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN MÉXICO

En 2017 el INEGI, a través de la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente (DGGMA), realizó un "Diagnóstico sobre los Usos y Necesidades de Imágenes de Satélite" [123] el cual fue presentado como una evaluación pública teniendo una retroalimentación directa de 25 unidades de estado y 24 universidades.

El objetivo de dicho diagnóstico fue conocer de manera detallada las necesidades de imágenes satelitales que diferentes entes nacionales establecen en sus procesos y utilizar esta información para proponer inversiones destinadas a la adquisición de este tipo de imágenes.

De entre las estadísticas obtenidas destacan los satélites más utilizados por las instituciones y los usos y aplicaciones más importantes derivadas del procesamiento de las imágenes satelitales.

En la figura 42 se muestra una gráfica con el tipo de imágenes que utilizan las diferentes instituciones, donde los satélites Spot 6-7, Landsat 8, Aster, Rapideye y Sentinel-2 destacan de manera importante.

Por otro lado, de acuerdo con las respuestas de las instituciones participantes, mostradas en la figura 43, los cinco usos y aplicaciones más comunes corresponden a:

- Cartografía
- Estudios ambientales
- Recursos Naturales
- Agricultura
- Ordenamiento territorial

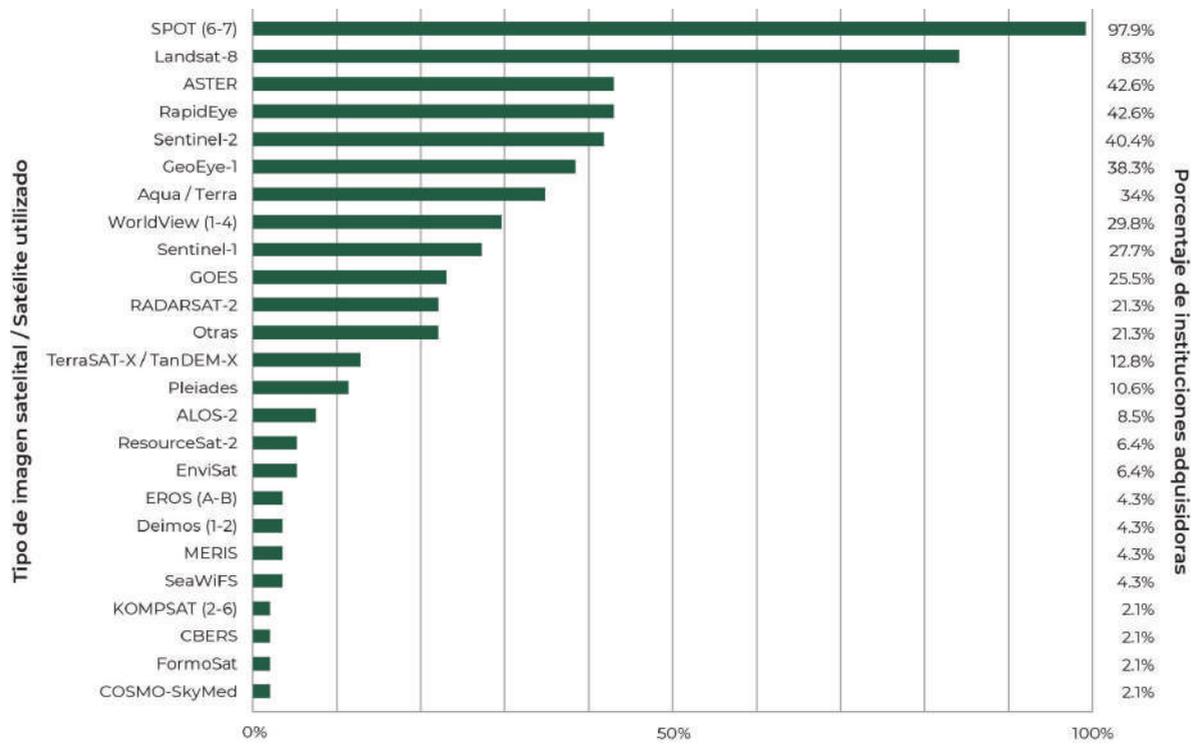


Figura 42. Tipo de imágenes satelitales utilizadas por diferentes instituciones mexicanas. [123]

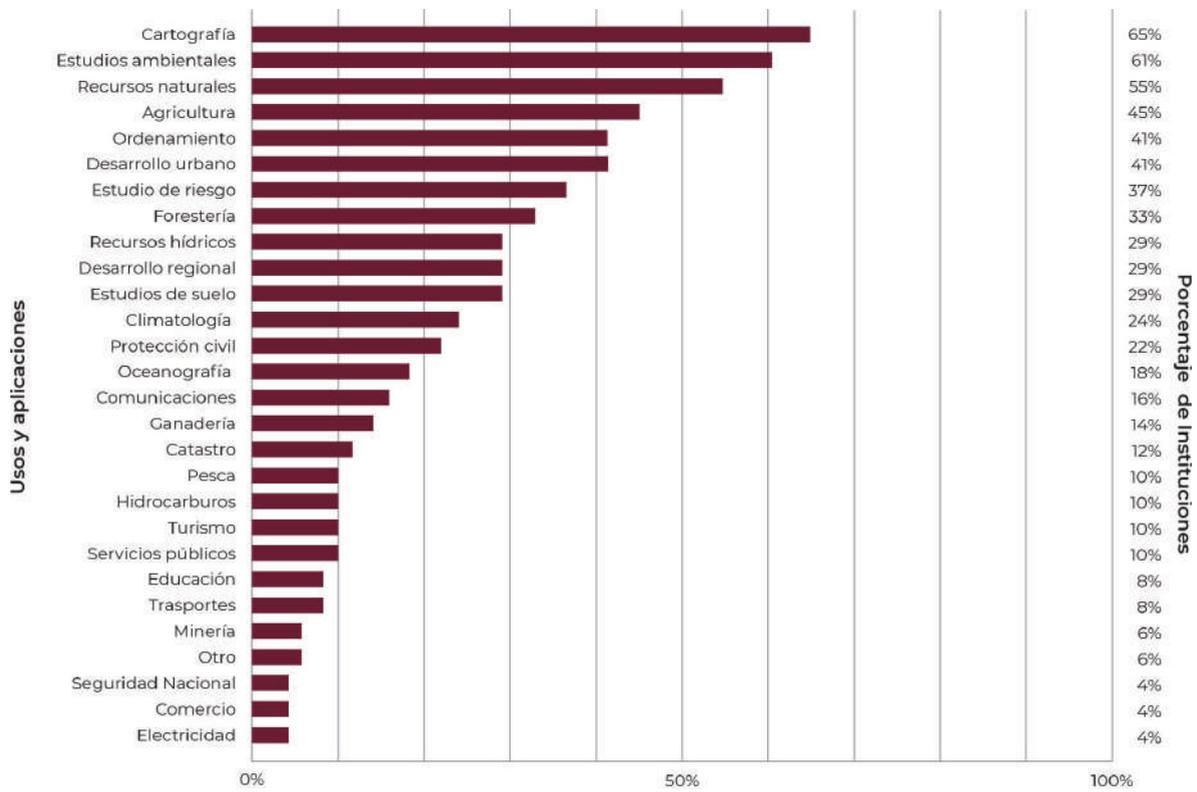


Figura 43. Uso y aplicaciones de las imágenes satelitales a nivel nacional. [123]

## 6.1 Estaciones de recepción y procesamiento en México

### ERMEX

En la actualidad, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) desarrollan en conjunto el proyecto de monitoreo satelital para vigilar cotidianamente el territorio nacional por medio de la antena de la Estación de Recepción México (ERMEX).

Esta se instaló en 2003 en la 22ª Zona Militar, en el Estado de México, y recibe información de los satélites SPOT que observan y analizan la superficie continental, insular y las aguas territoriales que conforman la república mexicana.

Las imágenes SPOT son adquiridas en formatos variables, con diferentes resoluciones espaciales y espectrales. La estación es capaz de recibir aproximadamente 80 imágenes satelitales por día, por lo cual su capacidad de captación es de alrededor de 29 000 imágenes al año. Algunos de los productos y resoluciones espaciales que se pueden obtener son los siguientes:

- 20 metros multiespectral (4 bandas)
- 10 metros multiespectral (4 bandas)
- 10 metros pancromática
- 5 metros pancromática
- 2.5 metros pancromática

Debido a estas características, su campo de aplicaciones es muy amplio, destacando el manejo y el estudio de los recursos forestales, análisis de riesgos, el ordenamiento del territorio, la prevención y mitigación de los efectos causados de las contingencias climatológicas y geológicas, así como el desarrollo de estrategias y acciones de protección civil. <sup>[124]</sup>

## ERIS

La Estación de Recepción de Información Satelital (ERIS) ubicada en Chetumal, actualmente se encuentra fuera de operación. Su capacidad permitió obtener imágenes de mediana resolución espacial, principalmente del satélite *Landsat- 8* y *Landsat- 9*, ambas de la constelación satelital de la NASA (Estados Unidos).

Las imágenes de estos sensores tienen una resolución espacial de 15 m en 11 bandas ópticas con un ancho de barrido de 180 km. Mientras estuvo activa, la estación operó con la colaboración conjunta de la AEM, el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) e INEGI.

## EVISMAR

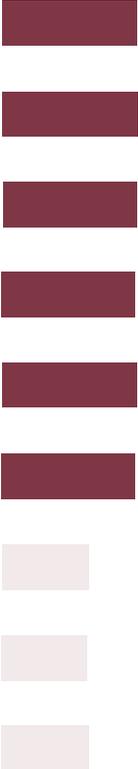
El 1 de diciembre de 2012 la Secretaría de Marina (SEMAR) crea la Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución (EVISMAR), a través de un esfuerzo conjunto con el INEGI. <sup>[126]</sup>

La EVISMAR es una estación virtual ubicada dentro de las instalaciones de la SEMAR, en la Ciudad de México, y tiene como objetivo recibir imágenes satelitales obtenidas por los satélites GeoEye-1 y Worldview 3 y 4 para procesarlas y ser utilizadas en apoyo al cumplimiento de las funciones de la SEMAR y del INEGI. Cuenta con una infraestructura informática de gran capacidad para la recepción, el almacenamiento, el procesamiento y la distribución de imágenes satelitales.

La EVISMAR tiene la capacidad de generar productos de muy alta resolución espacial con los siguientes niveles de procesamiento:

Tipo A.- Producto geoméricamente corregido.

Tipo B.- Producto ortorectificado, tomando como base el Modelo Digital de Elevación SRTM V.2 con una resolución espacial de aproximadamente 30 m.



La información generada por la EVISMAR constituye una importante herramienta para ayudar en el desarrollo de las tareas de la Secretaría de Marina:

- Monitoreo de instalaciones estratégicas.
- Monitoreo de áreas naturales protegidas.
- Monitoreo de zonas afectadas por desastres naturales.
- Apoyo en operaciones de búsqueda y rescate para proteger la vida humana en el mar.
- Apoyo en el planeamiento de operaciones militares.
- Investigación oceanográfica y el desarrollo portuario.

Adicionalmente, las imágenes de muy alta resolución proporcionadas por la EVISMAR son el insumo primordial del INEGI para la producción de ortoimágenes y generación de Modelos Digitales de Elevación de gran precisión.

Estos dos productos se utilizan para la extracción de rasgos topográficos con los que se elabora la cartografía topográfica 1:20,000 del INEGI.

De igual modo, la EVISMAR tiene la facultad de distribuir las imágenes del satélite GeoEye-1 ya colectadas a las dependencias e instituciones de los tres niveles de gobierno, a fin de apoyar en el desarrollo de sus actividades de investigación y planeación del territorio, así como a las instituciones de educación superior dedicadas a la investigación y docencia, mismas que pueden solicitar dicha información para su aplicación en temas como ordenamiento ecológico, impacto ambiental, hidrología, geomática, etc.

## LANOT

En marzo de 2018 se inauguró el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) a cargo del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). [127]

Este laboratorio tiene como objetivos fundamentales recibir, almacenar, procesar y llevar a cabo la distribución interactiva de datos e imágenes satelitales que permitan efectuar diferentes estudios sobre la evaluación de los cambios de uso de suelo y la cubierta vegetal, así como realizar un monitoreo constante de los océanos y la atmósfera, y establecer sus interrelaciones e impactos en la sociedad. El LANOT cuenta con una infraestructura para recibir imágenes de diversos tipos de satélites:

- a) imágenes del satélite geoestacionario GOES-16
- b) imágenes de satélites de órbita polar: SUOMI NPP, MODIS-Aqua y MODIS-Terra, EUMETSAT (MetOp-A y B), NOAA-AVHRR 18 Y 19
- c) información procesada a través de la antena GeonetCast [128].

Este laboratorio cuenta con el apoyo del CONACYT y se establece como un consorcio conformado inicialmente por la UNAM (a través de los institutos de Geografía, Geofísica, Ciencias del Mar y Limnología, Ecología, el Centro de Ciencias de la Atmósfera y el Centro de Colecciones Universitarias Digitales), el INEGI, la SEMAR y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Actualmente se cuenta también con la participación de la Universidad de San Luis Potosí (UASLP), del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de la SCT, a través de los Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), y una colaboración estrecha con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) para intercambio de información.

## MODIS CONABIO

La CONABIO en colaboración con la SEMARNAT y apoyada por la SEGOB-CENAPRED, recibió el 17 de octubre de 2001 una antena para coleccionar datos satelitales sobre fenómenos atmosféricos, oceánicos y terrestres, los cuales permitirán fortalecer programas como el de detección de puntos de calor para ayudar en la identificación de incendios forestales, monitoreo de ecosistemas, entre otros. [129]

La antena, ubicada en la Ciudad de México y que opera en banda L, recibe imágenes tomadas por el sensor MODIS del satélite TERRA-1. Este satélite forma parte de la misión EOS (Earth Observing System) de la NASA. El sensor fue creado para capturar imágenes de la atmósfera, mar y tierra, transmite datos en 36 bandas que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo térmico, con una resolución espacial de 250, 500 y 1000 metros. [129]

En la tabla 33 se muestra un resumen de estas estaciones de recepción y los satélites de los cuales reciben las diferentes imágenes.

**Tabla 33.**

Principales estaciones de recepción y procesamiento de imágenes satelitales en México.

ESTACIÓN	EVISMAR	ERMEX	ERIS (Fuera de servicio desde 2020)	LANOT	MODIS CONABIO
CONSORCIO	SEMAR, INEGI	SEDENA, SADER-SIAP	AEM, ECOSUR	UNAM, INEGI	CONABIO, SEMARNAT, SEGOB, CENAPRED
UBICACIÓN	CDMX	Estado de México	Chetumal	CDMX	CDMX
SATÉLITES	Geoeye 1, Worldview 3, Worldview 4	SPOT 6, SPOT 7	LANDSAT 8	GOES 16, SUOMI NPP, MODIS, EUMETSAT	Terra (Modis)
RESOLUCIÓN ESPACIAL	0.4 m	1.5 m	15 m	2 km	250 m
BANDAS	4	4	11	16	36
SWATH	15 km	60 km	180 km	Cobertura terrestre	Cobertura terrestre

## Sistema satelital GeoNetCast

GEONETCast Américas es un componente de una red mundial de sistemas de diseminación de información por satélite, en tiempo real, concebido para distribuir datos observados de la superficie y de la atmósfera, metadatos y productos para distintos tipos de usuarios.

La AEM, en 2017, obtuvo la donación de 10 terminales receptoras del Sistema GEONETCast-Americas (GNC-A), operado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). [130]

Con esta acción, México es capaz de recibir datos de GNC-A, una red de satélites cuyas estaciones receptoras son un medio de distribución del ICSMD (International Charter Space & Major Disasters), un conjunto de recursos satelitales para protección de la población ante desastres naturales que se activa cuando un país participante de esta red de cooperación solicita el apoyo de la comunidad internacional al enfrentar situaciones de esa naturaleza. Dentro del sistema GNC-A se encuentran países como Estados Unidos, Argentina, Belice, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá, Perú, Puerto Rico y Uruguay, entre otros. [131]

Para cumplir su cometido, estas 10 antenas fueron distribuidas a lo largo del territorio nacional para operarse una con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) del CONACYT, en La Paz, B.C., y otra por el CENAPRED de la Secretaría de Gobernación (SEGOB), en Ciudad de México. Cinco más de estas estaciones receptoras son operadas por la CONAGUA en coordinación con el SMN, habiendo sido ubicadas dos en sus respectivas sedes en la capital del país, así como, una en Mérida, otra en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, y una más en Veracruz.

Tres más de ellas se operan, una en coordinación con el INEGI en Aguascalientes, otra por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), en Baja California, y otra al otro extremo del país, en Quintana Roo, por la UNAM.

En junio de 2020 la AEM recibió la donación de 10 equipos receptores de transmisión de video digital de nueva generación (DVB-S2), con el objetivo de modernizar la señal de los satélites de telecomunicación en las 10 estaciones GNC-A, aumentando el volumen de datos recibidos por las antenas. [131]

Es así como el Sistema GNC-A ha permitido la recepción de información útil, aplicación y exploración de datos meteorológicos, protección ambiental, cambio climático, sequías y seguridad alimentaria, brindar apoyo a la formación de jóvenes científicos, además de contribuir a fortalecer el uso de la ciencia y la tecnología espacial en nuestro país para las tareas prioritarias de prevención, mitigación y respuesta rápida ante emergencias y desastres naturales en protección de la población. [131]

## 6.2 Histórico de adquisición y distribución de imágenes satelitales

El costo de adquisición de las imágenes satelitales depende, principalmente, del costo por unidad de área, del tiempo de descarga y del tiempo de procesamiento de los datos obtenidos. En la tabla 34 se muestra la relación del precio mínimo por hectárea para diferentes proveedores satelitales, de acuerdo con un análisis desarrollado por la Universidad de Padova, Italia, en 2018. [132] El análisis consideró el precio de adquisición de imágenes satelitales recientes (tiempo de captura menor a 90 días) dentro de las bandas visibles e infrarrojo cercano, además del costo por procesamiento de la imagen estimado en 100 dólares por imagen procesada.

**Tabla 34.**

Costo de adquisición de imágenes satelitales. [132]

PRECIO DE ADQUISICIÓN DE DIVERSAS IMÁGENES SATELITALES				
Satélite	Área mínima/ imagen [ha]	Precio [USD/ha]	Precio de imagen [USD]	Demanda computacional [kB/ha]
Geosat-2	10 000	0.060	700	5k
Dove (Planet)	10 000	0.012	220	8
GeoEye-1	10 000	0.275	2850	100
Kompsat-2	2 500	0.055	237.5	20
Kompsat-3	2 500	0.110	375	50

Kompsat-3A	2 500	0.160	500	100
Landsat-7/8	3 700 000 (global)	0	100	0.5
Pleiades-1A/1B	10 000	0.213	2 225	100
RapidEye	10 000	0.012	220	4
Sentinel-2	1 200 000 (global)	0	100	0.63
Spot-6/7	10 000	0.045	550	8
Worldview-2/3/4	10 000	0.275	2 850	130

De acuerdo con información obtenida por la AEM, mediante la interacción con diferentes instituciones, entre ellas el CDA del IPN,<sup>[133]</sup> se estima que de 2010 a 2018 diversas instituciones mexicanas han invertido más de 1 300 millones de pesos en la adquisición de imágenes satelitales.

La figura 44 muestra la aproximación del monto destinado a la adquisición de las imágenes satelitales de estas instituciones entre 2010 y 2018.

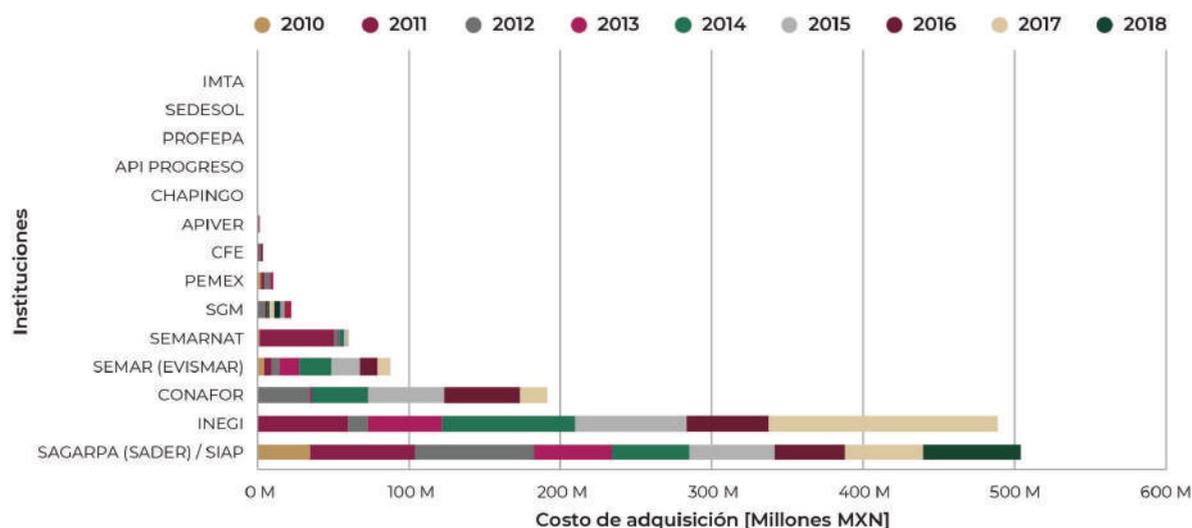


Figura 44. Estimación de montos destinados a la adquisición de imágenes satelitales en el periodo 2010-2018 en México. <sup>[133]</sup>

Por otro lado, de acuerdo con información proporcionada por administradores de la ERMEX<sup>[134]</sup> y complementada por ECOSUR y SAGARPA, la relación de imágenes gratuitas distribuidas por la esta-

ción terrestre ERMEX a diferentes organismos mexicanos de 2013 a 2017 se muestra en la figura 45.

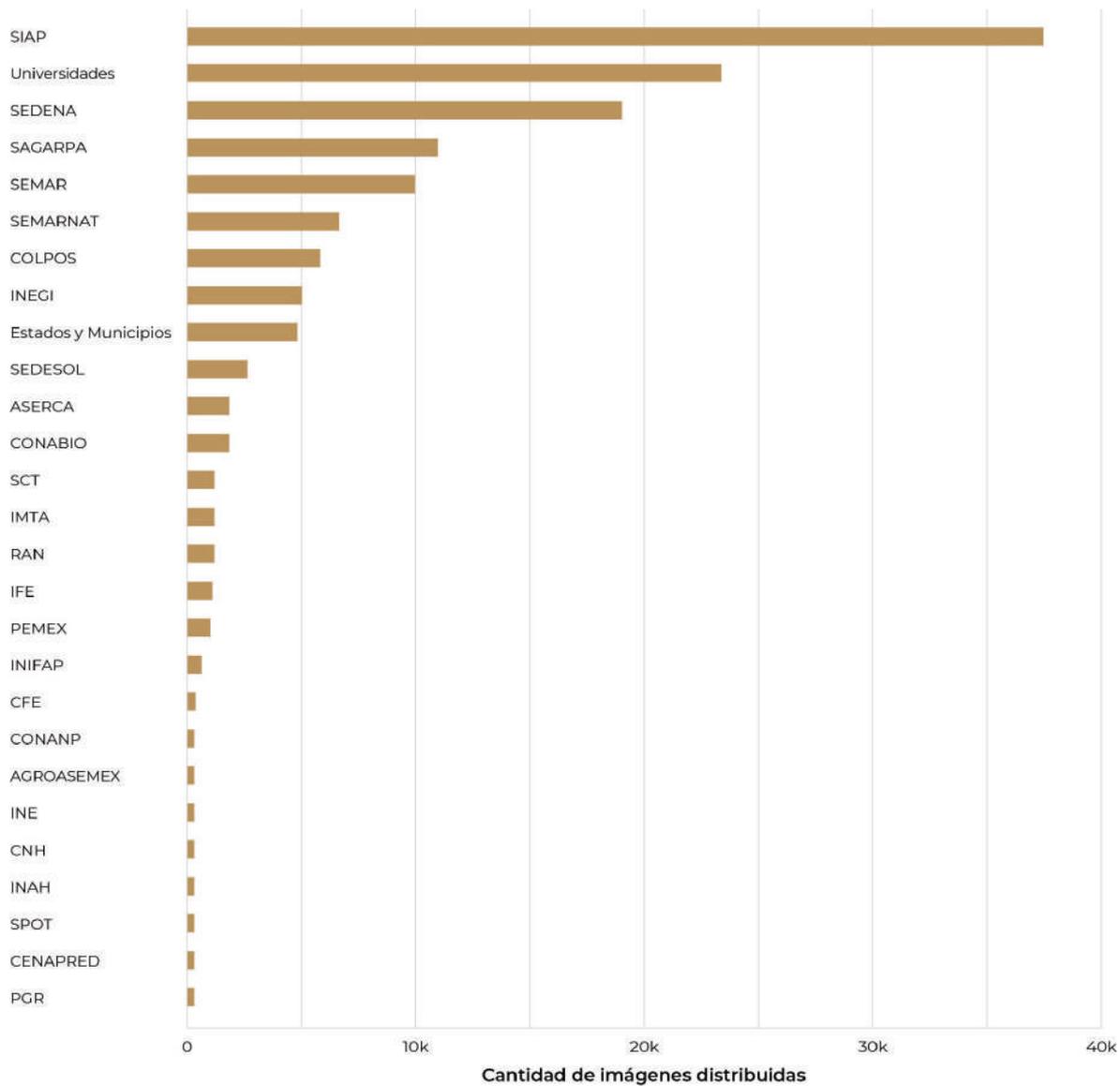


Figura 45. Distribución de imágenes realizada por la ERMEX de 2013 a 2017.

### 6.3 Inventario nacional de imágenes satelitales

En septiembre de 2017 fue publicado en el diario oficial de la federación el acuerdo por el que se aprueba la “Norma Técnica para la obtención y distribución de imágenes satelitales con fines estadísticos y geográficos” [135]. Esta norma técnica toma en consideración los datos y lineamientos proporcionados por el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) perteneciente al INEGI, y busca funcionar como la base para la estandarización de los recursos satelitales adquiridos por los diferentes organismos e institutos mexicanos, así como congrega todos los esfuerzos invertidos en dicha adquisición en un solo portal con el fin de optimizarlos y facilitar la coordinación en la compra de imágenes satelitales a través de una compra consolidada.

Este inventario nacional es coordinado por el Grupo de Trabajo de Imágenes Satelitales, el cual a su vez es creado por el Comité Técnico Especializado de Información Geográfica Básica (CTEIGB) conformado por el INEGI, la SEDENA, la SEMAR, la SAGARPA, la CONABIO, el CONACyT y la AEM.

A la fecha el inventario nacional es un proyecto en proceso de desarrollo y hasta el momento el INEGI solo cuenta con un repositorio de imágenes proporcionadas por los satélites Landsat 5, Landsat 8, Worldview y Rapideye de 2011 a 2019, con las cuales conforma un repositorio de mapas del territorio nacional para uso público. [136] [137]





Telepuerto Iztapalapa  
Fuente: Telecom

# ESTADÍSTICAS DE COMUNICACIONES

## VII.

# ESTADÍSTICAS DE COMUNICACIONES

En el contexto global, aunque durante el periodo 2009-2018 se lanzaron al espacio un promedio de 230 satélites por año,\* Euroconsult anticipa que en el periodo 2019-2028 se lance un promedio de 993 satélites por año.

Se estima que el valor de mercado de la fabricación de estos satélites ascenderá a 218.8 mil millones de dólares, mientras que el de su lanzamiento representará un valor de 73.6 mil millones de dólares. Restringiéndose a los satélites de telecomunicaciones, la demanda para construirlos y lanzarlos alcanzará un promedio anual de 8 mil millones de dólares. [138]

Aun cuando los satélites pequeños (“smallsats” con masa menor a 500 kg) representarán 87% del número total de satélites lanzados, sólo representarán 13% del valor de mercado. Por otro lado, aun cuando los satélites GEO representan solo 4% del número total, concentran 35% del valor de mercado (véase la figura 46).

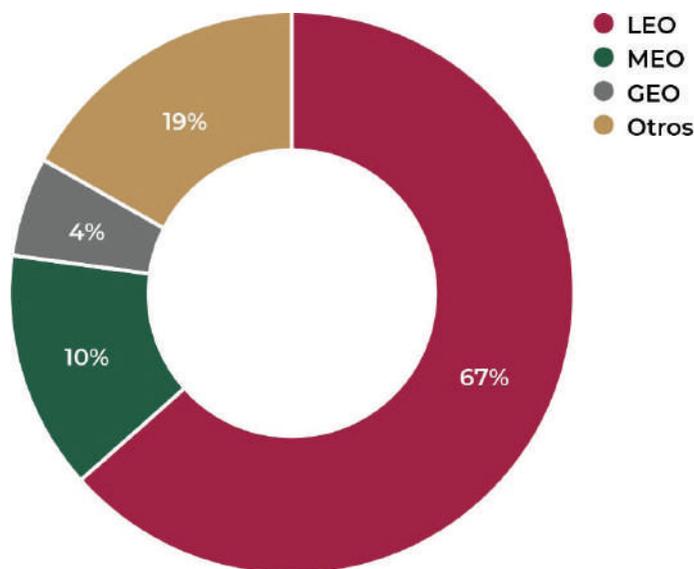


Figura 46. Distribución del número de satélites a ser fabricados y lanzados durante 2019-2028 por tipo de órbita.

Actualmente existen cuatro megaconstelaciones satelitales que representan en su conjunto 39% del número total de satélites a ser lanzados en la próxima década.

Las agencias civiles gubernamentales representan 40% de la demanda, mientras que hay 55 proyectos de constelaciones comerciales (con cinco o más satélites) que representan 66% de la demanda. La masa total es 3 941 toneladas, de las cuales 42% se comprende por satélites LEO. [138]

En la figura 47 podemos ver que, en términos del valor de mercado, las telecomunicaciones, seguida, por la observación de la Tierra fueron las más importantes; sin embargo, para la próxima década es la observación de la Tierra tomará el primer lugar. [138]

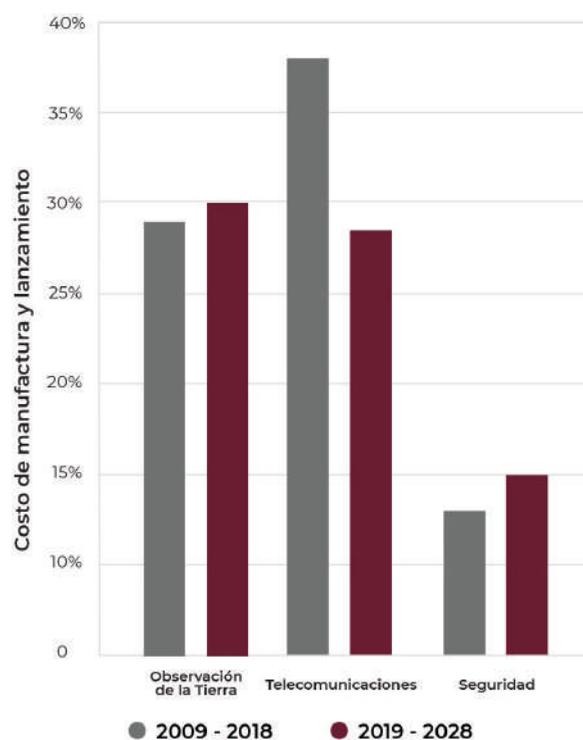


Figura 47. Primeras tres aplicaciones satelitales. Costo de manufactura y lanzamiento.

### Industria de las telecomunicaciones satelitales en México

Excepto por algunos datos disponibles en el IFT y el INEGI, no hay una fuente amplia que permita analizar toda esta industria, por lo que sería de mucha importancia que estos dos organismos pudieran recopilar la información apropiada de los diferentes agentes, como lo son los operadores satelitales, los proveedores de servicios sateli-

tales, los proveedores de equipos satelitales, etc. Sin embargo, aun con datos limitados se pueden obtener algunas conclusiones de interés.

Para servicios fijos por satélite, Satmex (Eutelsat Américas) cuenta con concesiones para explotar tres posiciones orbitales con sus respectivas bandas de frecuencia. Como se ve en la figura 48, en 2014 Eutelsat, en la prestación de servicios en México, incrementó sus ingresos 20% respecto a 2013. Para el ejercicio siguiente, en 2015, experimentó una caída de 62% respecto del año anterior. Durante 2016 y 2017 sus ingresos experimentaron un incremento de 7% y 9% respectivamente, pero permanecieron lejos de los niveles de 2014.

Posteriormente, en 2018 y 2019 sus ingresos decrecieron 12% y 13%, respectivamente, quedando los ingresos de 2019 por debajo de los de 2015.

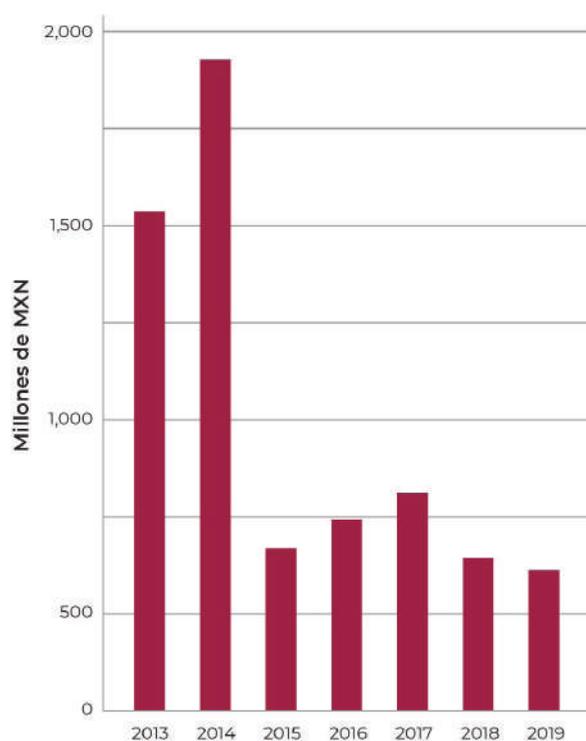


Figura 48. Ingresos anuales de Eutelsat en México.

Hispasat es uno de los operadores extranjeros que proporcionan capacidad satelital en México, durante 2014, 2015 y 2016 sus ingresos generados en México crecieron a una tasa anual de 33, 71 y 27%, respectivamente. En contraste, los tres años siguientes, 2017, 2018 y 2019, los ingresos anuales experimentaron una caída de 8, 39 y 12%,

respectivamente. Para 2019 se observa que sus ingresos fueron inferiores a los de 2015 y solo 7% mayores a los de 2014 (veasé la figura 49).

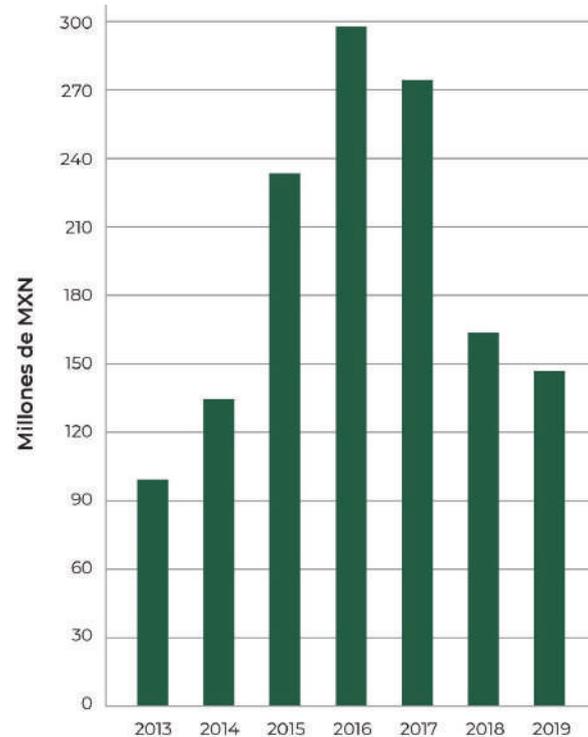


Figura 49. Ingresos anuales de Hispasat en México de 2013 a 2019.

Así, en lo que se refiere a los servicios fijos por satélite, tanto Eutelsat como Hispasat presentaron una disminución de sus ingresos en México en los últimos tres años. Lo anterior pareciera indicar una menor ocupación y/o una reducción en los precios por MHz debido a una posible sobreoferta de capacidad, resultado de la entrada de nuevas tecnologías, como los satélites HTS, que incorporan al mercado una gran capacidad y han logrado disminuir el costo por MHz al utilizar una gran cantidad de haces mediante la reutilización intensiva de las frecuencias disponibles.

Si tomamos en consideración que normalmente los precios se manejan en dólares, la variación del peso respecto del dólar podría tener un impacto en los ingresos en pesos independientemente de la variación en la ocupación y precios; sin embargo, como se puede ver en la figura 50, en 2018 y 2019 hay una ligera tendencia a la devaluación del peso, por lo que la paridad no explicaría parcialmente la reducción en los ingresos expresados en pesos de esos años.

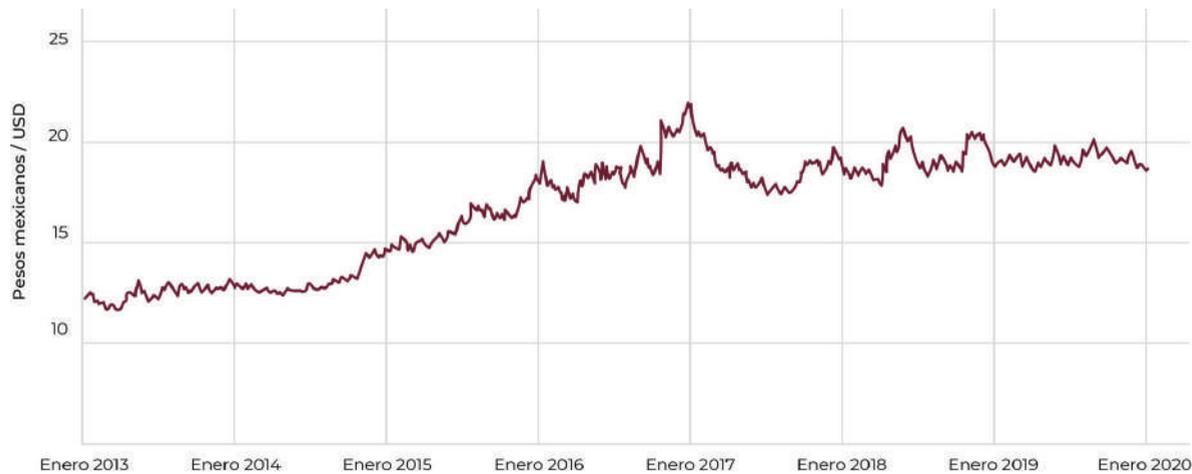


Figura 50. Tipo de cambio (2013-2020). \* 1

Adicional a los servicios fijos por satélite, también se prestan en México servicios de radiodifusión vía satélite, utilizando la posición orbital 77° Oeste, la cual está concesionada a la empresa Quetzsat.

En 2015 y 2016 los ingresos de Quetzsat en México crecieron a una tasa anual de 22 y 55%, respectivamente (vease la figura 51), sin embargo, para 2017 experimentaron una reducción de 12%. En 2018 experimentaron un crecimiento de 12% y en 2019 hubo un pequeño decrecimiento de 1.3 por ciento.

Aunque hay zonas donde la cobertura de infraestructura terrestre no llega y representa oportunidades de crecimiento, la radiodifusión de televisión vía satélite ha tenido que enfrentar la competencia que representan las nuevas plataformas como Netflix, Prime Video de Amazon, etcétera.

\* Datos de Banxico.

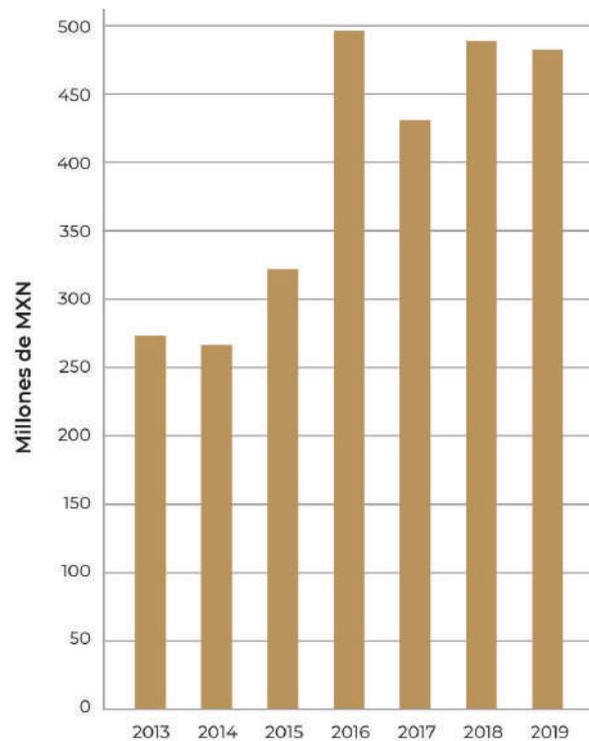


Figura 51. Ingresos anuales de Quetzsat en México de 2013 a 2019.

En lo que respecta a las comunicaciones móviles satelitales, el gobierno de México a través de Telecom ha proporcionado este tipo de servicios utilizando la banda L del sistema Movisat desde 1993. En el año 2000 el satélite Solidaridad 1 experimentó falla total y con ello la capacidad en banda L del sistema Movisat se redujo aproximadamente a la mitad; sin embargo, en el año siguiente hubo un incremento de más de 50000 terminales (véase la figura 52). Los años 2002 y 2003 siguieron experimentando un crecimiento en las terminales instaladas; sin embargo, a partir de 2004 todos los años experimentaron una reducción. En todos estos años el gobierno mexicano no puso en órbita el reemplazo de la capacidad en banda L que operaba en el Solidaridad 1.

En 2013 el satélite Solidaridad 2 fue desorbitado, y dejaron de operar las terminales existentes. En 2016, el Morelos 3 entró en operaciones; pero no están disponibles los datos de ocupación/uso. [139]

También se identifica en la figura 52 que el mayor número de terminales fueron para telefonía rural, seguido por datos en autotransporte.



Figura 52. Terminales del sistema Movisat.

Respecto a la aplicación de telefonía rural en la banda Ku, esta experimentó un incremento constante entre 2001 y 2007 (véase la figura 53), luego experimentó una ligera disminución por dos años, y permaneció prácticamente constante entre los años 2009 y 2016. En 2017 y 2018 experimenta un notorio crecimiento.

El número de terminales nos da solo una idea del uso del sistema, ya que no se cuenta con la información de cuál era la intensidad de uso de cada terminal, tanto en banda L como Ku. [139] [140]

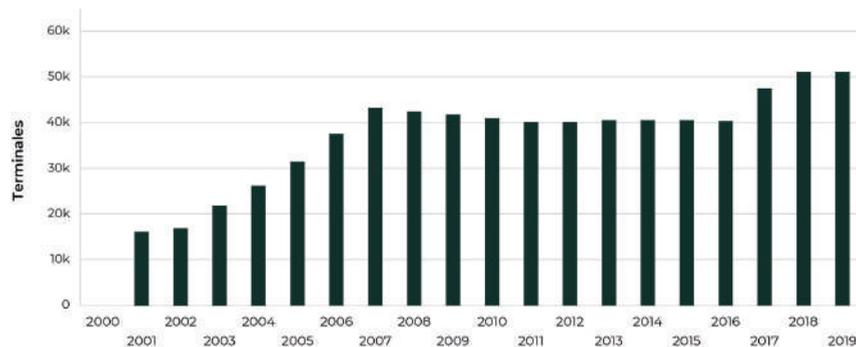


Figura 53. Terminales para voz de telefonía rural en la banda Ku.







Fuente: European Space Agency

# SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN

## VIII.

# SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN

## 8.1 Introducción

El sector espacial está en un periodo de reinversión y crecimiento y definitivamente el sector de dispositivos y aplicaciones que utilizan sistemas de navegación por satélite (GNSS) ha sido uno de los más dinámicos en los últimos años.

De acuerdo con datos de la Federal Aviation Administration, el sector espacial global alcanzó un valor de 400 mil millones de dólares en 2020, siendo el mercado de dispositivos y aplicaciones GNSS uno de los más dinámicos, ya que se estima que el número de dispositivos con tecnología GNSS ha crecido a más de 6500 millones, mientras que la derrama económica de este sector, tomando en consideración la venta de dispositivos y de aplicaciones, se estima que alcanza una cifra récord de alrededor de 61 200 millones de dólares, lo que representa 15% del total de la economía espacial en el mundo.

Con estas cifras en mente, la Agencia Espacial Mexicana ha venido dando un especial seguimiento a todas las tendencias tecnológicas y desarrollos relacionados con los sistemas de navegación para entender cómo se implementa una cadena de valor exitosa en los países emergentes y detectar e impulsar las posibles oportunidades de desarrollo en nuestro país.

Durante la lectura de este capítulo podremos revisar de manera inicial la descripción de los sistemas de navegación global que existen actualmente, tratando de citar los últimos avances en su infraestructura, y solo se revisarán de manera superficial aquellos sistemas que son regionales; después revisaremos las tendencias tecnológicas que impactan el desarrollo del mercado GNSS y de la economía de este sector.

Estamos seguros de que en los próximos años seguiremos escuchando cómo este sector impulsa de manera significativa el desarrollo de la economía global del espacio y como esta tecnología en conjunción con otros segmentos cómo el del transporte aéreo y marítimo, rastreo de vehículos y activos, agricultura de precisión, drones, tiempo y sincronía de tareas estratégicas y en general apli-

caciones de uso cotidiano que utilizan la geolocalización nos van a sorprender y a transformar nuestra rutina diaria y profesional.

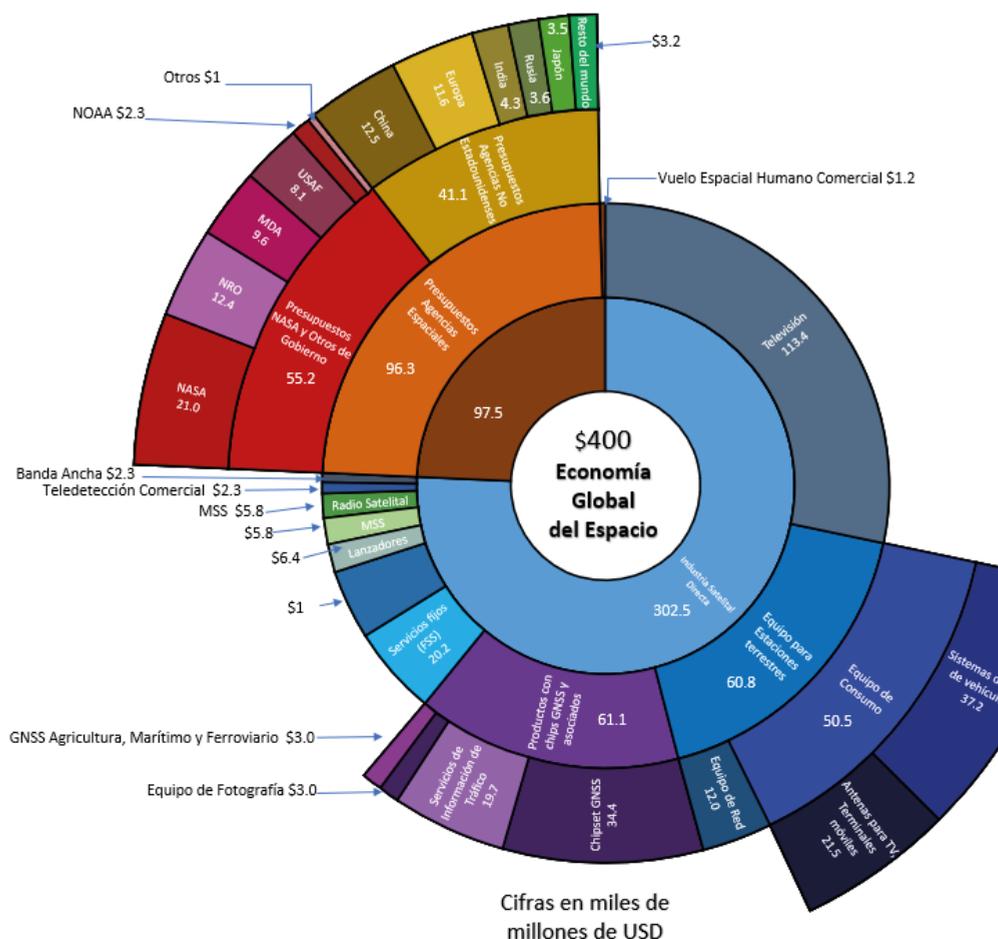


Figura 54. La economía global espacial en contexto.

## 8.2 Tiempo y sincronía de la infraestructura crítica

(Sección en colaboración con el doctor Eduardo de Carlos López, director del departamento de tiempo y frecuencia del CENAM)

La operación de las redes de telecomunicaciones depende inexorablemente de la sincronía de tiempo y frecuencia. conforme las tecnologías de telecomunicaciones evolucionan hacia tasas más altas de velocidad de transmisión de datos y el número de dispositivos conectados va en aumento, requieren niveles de sincronía cada vez más exigentes.

Actualmente, la sincronía que utilizan las redes de telecomunicaciones y muchos otros sectores, se encuentra sustentada princi-



palmente en los sistemas satelitales de navegación global (GNSS), como el GPS (Global Positioning System), desarrollado y controlado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Debido a las fuertes vulnerabilidades que presentan estos sistemas (condiciones ambientales, suplantación de identidad, interferencia, condiciones geopolíticas y errores de transmisión) y que son infraestructuras ajenas, esta práctica representa un alto riesgo para la economía del país y el bienestar de la sociedad. Por todo lo anterior, es de suma importancia contar con sistemas resilientes de sincronía, de manera que se garantice en todo momento la disponibilidad y calidad de las referencias de tiempo a fin de evitar fallas y sus efectos adversos en la economía.

El año 2020 es considerado como el momento de inicio del despliegue de las redes 5G en el mundo. Sin embargo, aún en el 2022 no están claramente definidos muchos detalles de esta nueva tecnología que, de entrada, es muy disruptiva, debido a que propone modificar los paradigmas que ha tenido el sector telecomunicaciones en los últimos 30 años. Esto no es de extrañarse, ya que para atender 100 veces más usuarios a 10 veces más la velocidad de tráfico de datos actual, es necesario pensar e implementar nuevas y complejas soluciones. En México, de acuerdo con datos analizados por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), los usuarios móviles (celulares) en el tercer trimestre de 2020 alcanzaron los 99 millones y el sector de telecomunicaciones y radiodifusión (TyR) aportó al PIB aproximadamente 3.1% (566 mil millones de pesos).

Debido a las mencionadas vulnerabilidades que presentan los GNSS y las desventajas de utilizar estos sistemas como referencias principales de sincronía, así como para apoyar la implementación de nuevas tecnologías altamente dependientes de la sincronía, diversos países en el mundo han realizado esfuerzos para desarrollar soluciones. En Estados Unidos, por ejemplo, la asociación más importante del sector de telecomunicaciones (Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS) ha llamado la atención de su gobierno a fin de implementar sistemas terrestres de sincronía alternos al GPS para proteger su infraestructura. En el Reino Unido se creó el National Timing Centre programme (NTC) con el fin de diseminar señales de tiempo y frecuencia confiables en todo el país y disminuir la dependencia al GPS. De igual manera en Asia y Europa se ha impulsado la implementación de sistemas de diseminación de tiempo terrestres, como el sistema eLoran.

Con la finalidad de coadyuvar al desarrollo del país, mantener la operatividad de la tecnología ya desplegada y asegurar las inversiones locales y extranjeras, el CENAM ha propuesto el desarrollo de una Red Nacional de Sincronía (RNS). La diseminación de la sincronía

en las redes de telecomunicaciones a través de la RNS, referenciada al Patrón Primario de Tiempo del CENAM, asegura la confiabilidad en el nivel de sincronía de estas redes.

La RNS, al estar referenciada al patrón primario del CENAM, además de mantener la calidad exigida de la sincronía en las redes, brindaría trazabilidad al Patrón Nacional de Tiempo y a la Hora Oficial, otorgando valor agregado a los servicios prestados por las compañías de telecomunicaciones.

La propuesta se enfoca en desplegar a lo largo del país réplicas de alta exactitud del Tiempo Universal Coordinado generado en el CENAM, el UTC(CNM), de manera que las referencias primarias de tiempo utilizadas permanezcan ancladas a estas réplicas del UTC(CNM), dejando al GPS solo como respaldo y medio de transferencia. Lo anterior impactando por supuesto el bienestar de la sociedad a través de infraestructura confiable y competitiva a nivel internacional.

### **8.3 Descripción de los principales sistemas de navegación globales**

(Información extraída del sitio: <https://www.gps.gov/systems/gps/>)

El objetivo principal de una constelación de satélites GNSS es proveer servicios de posicionamiento, navegación y datos de tiempo a un receptor GNSS. Dicho receptor recibe una trama de datos satelitales y calcula su posición, velocidad, dirección y tiempo para poder utilizar esta información en alguna aplicación o programa que será utilizado por millones de usuarios militares y civiles en todo el mundo.

Se define GNSS al conjunto de sistemas de navegación por satélite que operan en forma regional o en forma global para proporcionar la posición y el tiempo de un dispositivo receptor.

Dichos sistemas se pueden dividir en tres segmentos:

- a) Segmento espacial
- b) Segmento de control
- c) Segmento de usuario

## GPS

El GPS (Global Positioning System) inició como una responsabilidad del Departamento de la Defensa, bajo el control del “Space and Missile Center”, en el Segundo California. En 1973 el Departamento de Defensa de Estados Unidos. (DoD) ordenó al JPO (Joint Program Office) que estableciera, desarrollara, probara, adquiriera y desplegara un sistema de posicionamiento espacial. Al actual sistema de navegación con tiempo y rango (NAVSTAR) se le conoce como Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que es el resultado de esta directiva inicial.

Actualmente la Fuerza Espacial de Estados Unidos (U.S. Space Force) desarrolla, mantiene y opera los segmentos espaciales y de control.

Los satélites GPS orbitan la Tierra cada 12 horas y emiten señales de navegación continuas. Con el equipo adecuado, los usuarios pueden recibir al menos cuatro señales satelitales para calcular el tiempo, la ubicación y la velocidad. Las señales son tan precisas que el tiempo se puede calcular con una precisión de una millonésima de segundo, la velocidad con una precisión de una fracción de milla por hora y la ubicación con una precisión de 100 pies. Los receptores se han desarrollado para su uso en naves espaciales, aviones, barcos, vehículos terrestres y municiones guiadas con precisión, así como para dispositivos pequeños para transportarlos en la mano.

El servicio GPS proporciona servicios de navegación 24 horas al día, 7 días a la semana, 365 días al año, que incluyen los siguientes servicios:

- Información de ubicación tridimensional extremadamente precisa (latitud, longitud y altitud), velocidad (velocidad y dirección) y tiempo preciso.
- Una arquitectura de red común mundial que se convierte fácilmente a cualquier sistema de red local con operaciones pasivas en todo tipo de clima
- Proporciona información continua en tiempo real que brinda soporte a un número ilimitado de usuarios y áreas.

Dado que el Departamento de Defensa es el iniciador del GPS, los objetivos principales eran militares. Pero el Congreso de los Estados Unidos, con la orientación del presidente, ordenó al Departamento de Defensa que promoviera su uso civil. Esto se aceleró enormemente con la producción de un receptor GPS sin código "portátil" para levantamientos geodésicos que podía medir líneas de base cortas con precisión milimétrica y líneas de base largas con una parte por millón (ppm).

El 25 de enero de 1999 se anunció oficialmente el programa de modernización del GPS, con el objetivo de cumplir con los nuevos requisitos. La modernización impactó el segmento del espacio y el segmento de control y, por otro lado, las señales GPS enviadas a los receptores.

## Segmento espacial GPS

Los satélites de la constelación GPS están organizados en seis planos orbitales igualmente espaciados que rodean la Tierra. Cada plano contiene cuatro "ranuras" ocupadas por satélites de línea de base. Esta disposición de 24 ranuras garantiza que los usuarios puedan ver al menos cuatro satélites desde prácticamente cualquier punto del planeta.

La estrategia de la U.S. Space Force es normalmente volar más de 24 satélites GPS para mantener la cobertura cada vez que los satélites de línea de base están en mantenimiento o son retirados. Los satélites adicionales pueden aumentar el rendimiento del GPS, pero no se consideran parte de la constelación central.

En junio de 2011, la U.S. Space Force completó con éxito una expansión de la constelación de GPS conocida como la configuración "Expandible 24". Se expandieron tres de las 24 ranuras y se reposicionaron seis satélites, de modo que tres de los satélites adicionales pasaron a formar parte de la línea base de la constelación. Como resultado, el GPS ahora opera efectivamente como una constelación de 27 ranuras con cobertura mejorada en la mayor parte del mundo.

La constelación de GPS es una mezcla de satélites antiguos y nuevos. La tabla 35 resume las características de las generaciones actuales y futuras de satélites GPS, incluido el Bloque IIA (2.ª generación, "Avanzado"), el Bloque IIR ("Reposición"), el Bloque IIR-M ("Modernizado"), el Bloque IIF ("Seguimiento"), GPS III y GPS III F ("Seguimiento").

**Tabla 35.**

Resumen de la constelación GPS. Satélites actuales y futuros.

SATÉLITES HEREDADOS		SATÉLITES MODERNIZADOS		
BLOQUE IIA	BLOQUE IIR	BLOQUE IIR-M	BLOQUE IIF	GPS III/ IIIF
0 OPERACIONAL	7 OPERACIONAL	7 OPERACIONAL	12 OPERACIONAL	4 OPERACIONAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquisición aproximada (C/A) Código en frecuencia L1 para usuarios civiles.</li> <li>• Código P (Y) preciso en frecuencias L1 &amp; L2 para usuarios militares.</li> <li>• Diseño de vida útil, de 7.5 años.</li> <li>• Lanzado en 1990-1997.</li> <li>• Último desmantelado en 2019.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Código C/A en L1.</li> <li>• Código P (Y) L1 &amp; L2.</li> <li>• Reloj monitoreando a bordo.</li> <li>• Diseño de vida útil, de 7.5 años.</li> <li>• Lanzado en 1997-2004.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas las señales heredadas.</li> <li>• Segunda señal civil en L2 (L2C).</li> <li>• Nuevas señales codificadas militares M, mejoradas para resistencia a atascos.</li> <li>• Niveles de poder flexibles para señales militares.</li> <li>• Lanzado en 2005-2009.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas las señales del Bloque IIR-M.</li> <li>• Tercera señal civil en frecuencia L5 (L5).</li> <li>• Relojes atómicos avanzados.</li> <li>• Precisión mejorada, fuerza de señal y calidad.</li> <li>• Diseño de vida útil, de 12 años.</li> <li>• Lanzado en 2010-2016.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas las señales del Bloque IIF.</li> <li>• Cuarta señal civil en L1 (LIC).</li> <li>• Mejora en la fiabilidad de señales, precisión e integridad.</li> <li>• Sin disponibilidad selectiva.</li> <li>• Diseño de vida útil, de 15 años.</li> <li>• IIF: Láseres reflectores, carga útil de búsqueda y rescate.</li> <li>• Lanzado por primera vez en 2018.</li> </ul>

## Galileo

(Fuente: "Open Service Definition Document". EUSPA GNSS site)

### Revisión histórica

Europa reconoció pronto la importancia estratégica, económica, social y tecnológica de la navegación por satélite. Se hizo necesaria una estrategia europea y acciones importantes en el campo del posicionamiento y la navegación por satélite para establecer redes transeuropeas en los campos del transporte, las telecomunicaciones y las infraestructuras energéticas de conformidad con el tratado de la Comunidad Europea (CE) (Consejo Europeo de 1994).

En los años ochenta, la Agencia Espacial Europea (ESA) estudió diferentes conceptos de sistemas. En particular se ha considerado un concepto de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) con satélites que funcionan solo como tubos doblados para señales de estaciones terrestres, simplificando así la complejidad del satélite.



En 1994 el Consejo Europeo solicitó a la Comisión Europea (Consejo Europeo de 1994) en una resolución responder a los desafíos de la tecnología de la información y tomar las iniciativas necesarias para contribuir a la navegación por satélite. Europa concibió un enfoque de dos pasos: el primero encaminado al aumento del GNSS de primera generación existente (es decir, GPS y GLONASS). Esta acción finalmente dio como resultado el desarrollo y despliegue del servicio europeo de superposición de navegación geoestacionaria (EGNOS).

En el segundo paso la Unión Europea (UE) solicitó “iniciar y apoyar el trabajo preparatorio necesario para el diseño y organización de un sistema global de navegación por satélite para uso civil”.

Al mismo tiempo, el Consejo Europeo fomentó la necesidad de cooperar con el sector privado para compartir costos y riesgos, maximizando al mismo tiempo los beneficios. Europa también hizo hincapié en la necesidad de cooperar estrechamente con la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Organización Marítima Internacional (OMI) a fin de desarrollar e implementar un sistema de acuerdo con los estándares internacionales.

En un principio, la UE se encaminó hacia una estrecha cooperación con los Estados Unidos en el desarrollo del GPS de próxima generación y una participación activa en el control y desarrollo del mismo. Las negociaciones con Estados Unidos revelaron el interés de ambas partes en una cooperación, pero también plantearon las reservas, porque siempre se ha considerado una infraestructura crítica para la seguridad. Una participación de países extranjeros en la definición y el control del GPS no eran aceptables para Estados Unidos. Europa, en cambio, se encaminaba hacia un máximo de control para garantizar su propia soberanía, autonomía y competitividad. Europa también consideró cooperar estrechamente con Rusia, pero finalmente tomó la decisión de desarrollar su propio GNSS.

### Descripción del sistema

Galileo es el Sistema Global de Navegación por Satélite Europeo (EGNSS), bajo control civil, que proporciona servicios de posicionamiento por satélite a ciudadanos europeos y de todo el mundo. Galileo proporciona señales de distancia en tres bandas de frecuencia diferentes, lo que permite el posicionamiento de frecuencia única y doble para usuarios equipados con receptores adecuados.





Como uno de los servicios ofrecidos por Galileo, Galileo Open Service (OS) permite, de forma gratuita, alcance global, posicionamiento y temporización, por medio de Galileo OS Signal-In-Space (SIS).

El Galileo Open Service es un servicio gratuito de medición de distancia, posicionamiento y suministro de tiempo global. Cada satélite Galileo transmite señales de navegación (Signal-In-Space, SIS) en tres bandas de frecuencia. El sistema operativo SIS, que se transmite en dos de estas tres bandas, proporciona acceso a los servicios de medición, posicionamiento y temporización del sistema operativo Galileo para usuarios equipados con un receptor compatible con el sistema operativo Galileo. Los siguientes servicios son compatibles con Galileo OS SIS:

- Rangos de frecuencia única y frecuencia dual,
- Posicionamiento de frecuencia única y frecuencia dual,
- Determinación de la hora UTC.

Los sistemas operativos se proporcionan en modo de frecuencia única (SF) o de frecuencia dual (DF). En el caso del modo de uso de SF, el equipo de usuario rastrea y procesa la información proporcionada por solo una de las tres frecuencias de OS.

Los diferentes modos de uso del sistema operativo de frecuencia única son E5a, E5b y E1. En cualquier modo de uso de SF se deben aplicar compensaciones específicas: Broadcast Group Delay (BGD), para compensar retrasos sistemáticos de satélites específicos entre las diferentes frecuencias, y compensación ionosférica, para compensar los retrasos atmosféricos de las señales. Los algoritmos respectivos se especifican en el ICD de Galileo OS SIS y en el algoritmo de corrección ionosférica para usuarios de una sola frecuencia de Galileo.

En el caso del modo de uso de DF, el equipo de usuario rastrea y procesa la información proporcionada por dos de las tres frecuencias del SO. Los diferentes modos de uso de doble frecuencia del sistema operativo son E1 / E5a y E1 / E5b. En los modos de uso de doble frecuencia no se requiere compensación de BGD, y los receptores Galileo OS miden directamente los retardos ionosféricos, haciendo uso de la propiedad dispersiva de la ionosfera.





### **Servicio básico de medición de distancia en Galileo**

El rango permite a los usuarios estimar continuamente su distancia al satélite. Esta medida es la base de los servicios basados en el posicionamiento, ya que la posición y el tiempo del usuario se pueden estimar utilizando mediciones de distancia de (al menos) cuatro satélites diferentes. Los servicios de telemetría GNSS comprenden un conjunto de señales electromagnéticas transmitidas por satélites y debidamente moduladas para transportar la información, generada por una infraestructura terrestre adecuada, que necesitan los receptores para estimar la distancia de usuario a satélite.

El servicio de determinación de distancia del sistema operativo Galileo se proporciona tanto en el modo de uso SF como en el modo de uso DF. El modo de uso de DF se caracteriza en general por una mayor precisión de la medición del rango. El uso de dos frecuencias permite en la mayoría de los casos una mejor compensación del efecto perturbador de la ionosfera en el SIS, proporcionando así un mejor rendimiento al usuario final.

El servicio de determinación de distancia de Galileo OS es interoperable con los servicios de determinación de distancia de GPS y, por lo tanto, proporciona un beneficio directo a los usuarios que pueden explotar tanto las constelaciones de Galileo como las de GPS, al aumentar el número de señales disponibles en el espacio.

### **Servicio básico de posicionamiento**

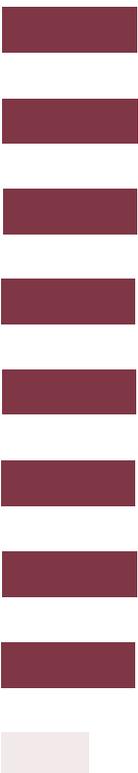
Al combinar correctamente las mediciones de distancia y temporización, todos los usuarios equipados con un receptor Galileo OS que se encuentran dentro del área de cobertura de servicio de Galileo OS pueden estimar su posición.

El servicio de posicionamiento del sistema operativo Galileo, que se basa en el servicio de determinación de distancia del sistema operativo Galileo, es interoperable con los servicios de posicionamiento GPS. Por lo tanto, proporciona un beneficio directo a los usuarios que pueden explotar tanto las constelaciones de Galileo como las de GPS, al aumentar el número de satélites disponibles a la vista.

### **Servicio básico de determinación de tiempo UTC**

Los satélites GNSS transmiten datos adicionales que permiten a los receptores GNSS relacionar la escala de tiempo GNSS con escalas de tiempo de referencia internacional. Los precisos relojes atómicos del sistema Galileo permiten entregar a los usuarios datos de sincronización muy precisos.





El servicio de determinación de la hora UTC del sistema operativo proporciona a los usuarios de todo el mundo un acceso directo y preciso a la referencia de la hora universal coordinada (UTC). Proporciona tanto el desplazamiento entero entre el tiempo del sistema Galileo (GST) y UTC como la diferencia fraccional GST-UTC a nivel de nanosegundos. Esto permite a los usuarios marcar la fecha y hora de sus datos en UTC o en hora local y sincronizar con precisión sus relojes en UTC, que pueden estar situados en diferentes lugares del mundo.

### Servicios de alto rendimiento del sistema Galileo

El sistema Galileo se compone de una infraestructura central y una serie de instalaciones de servicio.

La infraestructura central, a su vez, comprende un segmento espacial y un segmento terrestre.

El segmento espacial de Galileo consiste en una constelación Walker de 24 satélites, que transmiten señales de navegación que proporcionan al usuario acceso a los servicios de Galileo. El segmento terrestre de Galileo consiste en una infraestructura terrestre que proporciona la funcionalidad para monitorear y controlar la constelación de satélites y la generación y posterior difusión de los datos de la misión que se incluyen en las señales de navegación (es decir, el mensaje de navegación de Galileo) y se transmiten a los usuarios. El sistema Galileo, una vez implementado por completo, ofrecerá cinco servicios de alto rendimiento en todo el mundo:

- Open Service (OS): servicio abierto y gratuito de Galileo configurado para servicios de posicionamiento y temporización.
- Servicio Público Regulado (PRS): Servicio restringido a usuarios autorizados por el gobierno, para aplicaciones sensibles que requieren un alto nivel de continuidad del servicio.
- Servicio de alta precisión (HAS): un servicio de acceso gratuito que complementa el sistema operativo, brinda datos de alta precisión y proporciona una mejor precisión de rango, lo que permite a los usuarios lograr una precisión de posicionamiento a nivel inferior al metro.
- Servicio de autenticación comercial (CAS): un servicio que complementa el sistema operativo, proporcionando una función de autenticación y acceso controlado a los usuarios.

- Servicio de búsqueda y salvamento (SAR): contribución de Europa a COSPAS-SARSAT, un sistema internacional de detección de alertas de socorro de búsqueda y salvamento basado en satélites.

En el futuro, Galileo Open Service también proporcionará autenticación de mensajes de navegación, que permite el cálculo de la posición del usuario utilizando datos autenticados extraídos del mensaje de navegación. La autenticación de mensajes de navegación de servicio abierto no se proporciona actualmente como parte del servicio, pero las señales de prueba para la autenticación de mensajes de navegación pueden transmitirse sin ningún nivel de rendimiento mínimo asociado definido.

### Segmento satelital del sistema Galileo

Las órbitas de la constelación están dispuestas en tres planos orbitales, con sus nodos ascendentes distribuidos uniformemente a intervalos de 120 grados, inclinados 56 grados con respecto al ecuador.

Cada plano orbital incluye ocho satélites distribuidos uniformemente dentro del plano, a intervalos de 45 grados de latitud. El desplazamiento angular entre satélites en dos planos adyacentes es de 15 grados. La constelación puede complementarse con satélites auxiliares de Galileo, que ocupan ranuras orbitales que no forman parte de la constelación de línea de base y no están definidas a priori. Los satélites auxiliares que se encuentran en los planos orbitales de la línea de base pueden reposicionarse en cualquier ranura nominal dada dentro de cada plano orbital, dependiendo de las necesidades de mantenimiento o evolución del servicio.

El procesamiento por los receptores Galileo de la transmisión SIS saludable por los satélites auxiliares no es necesario para alcanzar los niveles mínimos de rendimiento del sistema operativo Galileo presentados en el SDD del sistema operativo para la solución de navegación, aunque su uso da como resultado una mejora del rendimiento del servicio.

El periodo de repetición de la geometría de la constelación correspondiente a los parámetros orbitales nominales es de aproximadamente 10 días siderales (correspondientes a 17 revoluciones orbitales). Esto significa que, para cualquier usuario fijo de Galileo, la geometría del satélite local en un instante dado se repetirá cada 10 días siderales, aproximadamente.

Tabla 36.

Historial de lanzamientos de los satélites Galileo.

#	SATÉLITE	NOMBRE	FECHA DE LANZAMIENTO	LUGAR DE LANZAMIENTO
-	Giove-A	GSAT0001	28 de diciembre de 2005	Baikonur (Área 31)
-	Giove-B	GSAT0002	26 de abril de 2008	Baikonur (Área 31)
1	Galileo-IOV PFM	GSAT0101  (Thijs)	21 de octubre de 2011	Kourou ELS
2	Galileo-IOV FM2	GSAT0102  (Natalia)		
3	Galileo-IOV FM3	GSAT0103  (David)	12 de octubre de 2012	Kourou ELS
4	Galileo-IOV FM4	GSAT0104  (Sif)		
5	Galileo-FOC FM1	GSAT0201  (Doresa)	22 de agosto de 2014	Kourou ELS
6	Galileo-FOC FM2	GSAT0202  (Milena)		
7	Galileo-FOC FM3	GSAT0203  (Adam)	27 de marzo de 2015	Kourou ELS
8	Galileo-FOC FM4	GSAT0204  (Anastasia)		
9	Galileo-FOC FM5	GSAT0205  (Alba)	11 de septiembre de 2015	Kourou ELS
10	Galileo-FOC FM6	GSAT0206  (Oriana)		
11	Galileo-FOC FM8	GSAT0208  (Andriana)	17 de diciembre de 2015	Kourou ELS
12	Galileo-FOC FM9	GSAT0209  (Liene)		
13	Galileo-FOC FM10	GSAT0210  (Danielé)	24 de mayo de 2016	Kourou ELS
14	Galileo-FOC FM11	GSAT0211  (Alizée)		
15	Galileo-FOC FM7	GSAT0207  (Antonianna)	17 de noviembre de 2016	Kourou ELS
16	Galileo-FOC FM12	GSAT0212  (Lisa)		
17	Galileo-FOC FM13	GSAT0213  (Kimberley)		
18	Galileo-FOC FM14	GSAT0214  (Tijmen)		

	COHETE	NOMBRE DEL LANZAMIENTO	PRN	SLOT	ESTADO
	Soyuz FG/ Fregat	P15000-015	Pruebas	Pruebas	Retirado (30 de junio de 2012)
	Soyuz FG/ Fregat	P15000-016	Pruebas	Pruebas	Retirado (23 de julio de 2012)
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-01	E11	B05	Operativo
			E12	B06	Operativo
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-03	E19	C04	Operativo
			E20	C05	No disponible
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-09	E18	Ext01	En pruebas
			E14	Ext02	En pruebas
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-11	E26	B08	Operativo
			E22	B03	No utilizable
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-12	E24	A08	Operativo
			E30	A05	Operativo
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-13	E08	C07	Operativo
			E09	C02	Operativo
	Soyuz-2-1b/ Fregat-MT	VS-15	E01	A02	Operativo
			E02	A06	Operativo
	Ariane 5 ES	VA-233	E07	C06	Operativo
			E03	C08	Operativo
			E04	C03	Operativo
			E05	C01	Operativo

19	Galileo-FOC FM15	GSAT0215  (Nicole)	12 de diciembre de 2017	Baikonur (Área 31)
20	Galileo-FOC FM16	GSAT0216  (Zofia)		Baikonur (Área 31)
21	Galileo-FOC FM17	GSAT0217  (Alexandre)		Kourou ELS
22	Galileo-FOC FM18	GSAT0218  (Irina)		
23	Galileo-FOC FM19	GSAT0219  (Tara)	25 de julio de 2018	Kourou ELS
24	Galileo-FOC FM20	GSAT0220  (Samuel)		
25	Galileo- FOC FM21	GSAT0221  (Anna)		Kourou ELS
26	Galileo- FOC FM22	GSAT0222  (Ellen)		
27	Galileo- FOC FM23	GSAT0223  (Patrick)	5 de diciembre de 2021	Kourou ELS
28	Galileo-FOC FM24	GSAT0224  (Shriya)		
<b>LANZAMIENTOS PROGRAMADOS</b>				
29	Galileo-FOC FM25	GSAT0225  (Nikolina)	2022	Kourou ELS
30	Galileo-FOC FM26	GSAT0226  (Julina)		
31	Galileo-FOC FM27	GSAT0227	2022 +	Kourou ELS
32	Galileo-FOC FM28	GSAT0228		
33	Galileo-FOC FM29	GSAT0229)	2022 +	Kourou ELS
34	Galileo-FOC FM30	GSAT0230		
35	Galileo-FOC FM31	GSAT0231	2022 +	Kourou ELS
36	Galileo-FOC FM32	GSAT0232		
37	Galileo-FOC FM33	GSAT0233	2022 +	Kourou ELS
38	Galileo-FOC FM34	GSAT0234		

Ariane 5 ES	VA-240	E21	A03	Operativo
		E25	A07	Operativo
		E27	A04	Operativo
		E31	A01	Operativo
Ariane 5 ES	VA-244	E36	B04	Operativo
		E13	B01	Operativo
		E15	B02	Operativo
		E33	B07	Operativo
Soyuz-2-1b/ Fregat-MT (inicialmente <u>Ariane 6</u> A62)	VS-26	E34	B03	Fase de operaciones Iniciales (LEOP)
		E10	B15	Fase de operaciones iniciales (LEOP)
<b>LANZAMIENTOS PROGRAMADOS</b>				
<u>Ariane 6</u> A62				

Referencias: EC Children Drawing Competition - Gunter's Space Page.

## BEIDOU

(Fuente: Beidou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard (v3.0).)

### Información general

El sistema de navegación por satélite BeiDou (BDS) ha sido construido y operado de forma independiente por China, teniendo en cuenta las necesidades de la seguridad nacional y el desarrollo económico y social del país. Como infraestructura temporal-espacial de importancia nacional, el BDS proporciona servicios de posicionamiento, navegación y tiempo de alta precisión, en todo momento y bajo cualquier clima a los usuarios globales.

Desde la prestación de servicios, los sistemas de navegación se han utilizado ampliamente en el transporte, la agricultura, la silvicultura, la pesca, el monitoreo hidrológico, la predicción meteorológica, las comunicaciones, el despacho de energía, el socorro en casos de desastre, la seguridad pública y otros campos, y ha estado al servicio de importantes infraestructuras nacionales, lo que ha resultado en notables beneficios económicos y sociales. Los servicios de navegación basados en BDS han sido ampliamente adoptados por empresas de comercio electrónico, fabricantes de terminales móviles inteligentes y proveedores de servicios basados en la ubicación, que han incursionado ampliamente en los campos del consumo masivo, las economías compartidas y los relacionados con los medios de vida de las personas. Están surgiendo nuevos modos, formas de negocio y economía de las aplicaciones de GNSS, que están cambiando profundamente la producción y la vida de las personas. China continuará promoviendo las aplicaciones de BDS y el desarrollo industrial, a fin de servir a la construcción de la modernización del país y la vida cotidiana de las personas, y hacer contribuciones al desarrollo científico, tecnológico, económico y social global.

China aplica el principio de que "BDS es desarrollado por China, dedicado al mundo y con el objetivo de ser de primera clase", y desea compartir el resultado de la construcción y el desarrollo de BDS con todos los demás países, para promover el desarrollo global de la navegación por satélite. y hacer que los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) sirvan al mundo y beneficien a la humanidad. El BDS proporciona seguridad de la información espacial y temporal para el desarrollo económico y social, y es uno de los logros importantes en los últimos 40 años de la reforma y apertura de China, y sirve como un producto público global que China aporta al mundo. China continuará promoviendo activamente los intercambios y la cooperación internacionales, a fin de lograr la compatibilidad e interoperabilidad con otros sistemas de navegación por satélite en el mundo y brindar a los usuarios globales un mayor rendimiento, servicios más confiables y múltiples.



## La estrategia de desarrollo

A finales del siglo XX China comenzó a explorar un camino para desarrollar un sistema de navegación por satélite adecuado para sus condiciones nacionales y, gradualmente, formuló una estrategia de desarrollo de tres pasos: para el año 2000 se completó la construcción de BDS-1 para brindar servicios a China.; para 2012 se completó la construcción del BDS-2 para brindar servicios a la región de Asia y el Pacífico. La construcción del BDS-3 se completará para brindar servicios en todo el mundo en 2020.

## Los objetivos de desarrollo

El desarrollo de BDS tiene como objetivo construir un sistema de navegación por satélite de clase mundial para satisfacer las necesidades de seguridad nacional del país, así como el desarrollo económico y social; proporcionar servicios continuos, estables y confiables para usuarios globales; desarrollar las industrias relacionadas con los sistemas de navegación, para apoyar el desarrollo económico y social de China, así como la mejora del nivel de vida de las personas; y mejorar la cooperación internacional para compartir los frutos del desarrollo en el campo de la navegación por satélite, aumentando los beneficios de la aplicación integral de los sistemas mundiales de navegación por satélite.

El objetivo de independencia del sistema se requiere para mantener la construcción, el desarrollo y el funcionamiento independientes de BDS y adquirir la capacidad de proporcionar de forma independiente servicios de navegación por satélite a usuarios de todo el mundo.

El objetivo de apertura se refiere a proporcionar servicios abiertos de navegación por satélite de forma gratuita y fomentar la cooperación y el intercambio internacional a gran escala, multinivel y de alta calidad.

El objetivo de compatibilidad se refiere a mejorar la compatibilidad e interoperabilidad con otros sistemas de navegación por satélite y fomentar las colaboraciones e intercambios internacionales, a fin de brindar mejores servicios a los usuarios.

### Sistema

El objetivo futuro: para 2035 está programado el establecimiento de un sistema nacional de posicionamiento, navegación y cronometraje (PNT) más ubicuo, integrado e inteligente y completo.



## La arquitectura principal

BDS se compone principalmente de tres segmentos: uno espacial, uno terrestre y uno de usuario.

El segmento espacial BDS consta de varios satélites ubicados en la órbita terrestre geoestacionaria (GEO), la órbita geosíncrona inclinada (IGSO) y la órbita terrestre media (MEO).

El segmento terrestre de BDS consta de varias estaciones terrestres, incluidas las estaciones de control principal, las estaciones de sincronización de tiempo / enlace ascendente, las estaciones de supervisión, así como las instalaciones de operación y gestión del enlace entre satélites.

El segmento de usuarios de BDS consta de varios tipos de productos, sistemas y servicios básicos de BDS, así como aquellos compatibles con otros sistemas de navegación, incluidos productos básicos como chips, módulos y antenas, terminales, sistemas de aplicación y servicios de aplicación.

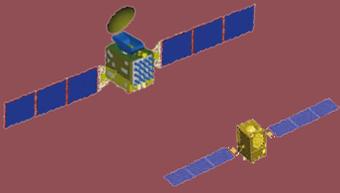
## Las características de BDS

El desarrollo de BDS sigue un modelo de desarrollo de capacidades de servicios regionales, y luego extendiendo gradualmente los servicios a nivel mundial. Esta práctica ha abierto un camino para la construcción de un sistema de navegación por satélite con características chinas y ha enriquecido los modelos de desarrollo para los sistemas de navegación por satélite en todo el mundo.

BDS posee las siguientes características: primero, su segmento espacial es una constelación híbrida que consta de satélites en tres tipos de órbitas. En comparación con otros sistemas de navegación por satélite, BDS opera más satélites en órbitas altas para ofrecer mejores capacidades antiblindaje, lo que es particularmente observable en términos de desempeño en las áreas de baja latitud. En segundo lugar, BDS proporciona señales de navegación de múltiples frecuencias y puede mejorar la precisión del servicio mediante el uso de señales multifrecuencia combinadas. En tercer lugar, BDS integra la función de navegación y comunicación, y posee múltiples capacidades de servicio, a saber, posicionamiento, navegación y sincronización, comunicación de mensajes cortos, búsqueda y rescate internacional, aumento basado en satélites, aumento de tierra y posicionamiento de puntos precisos, etcétera.

**Tabla 37.**

El sistema BeiDou se compone de segmento espacial, terrestre y de usuarios.

<p><b>SEGMENTO ESPACIAL</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 satélites GEO</li> <li>• 3 satélites IGSO</li> <li>• 24 satélites MEO</li> </ul>
<p><b>SEGMENTO TERRESTRE</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estación Maestra de Control</li> <li>• Estaciones de enlace ascendente</li> <li>• Estaciones de monitoreo</li> </ul>
<p><b>SEGMENTO DE USUARIOS</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminales BeiDou</li> <li>• Terminales compatibles con otros sistemas satelitales de navegación</li> </ul>

## GLONASS

La abreviatura GLONASS deriva del ruso "Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema", traducido a su equivalente en inglés, esto significa Global Navigation Satellite System.

A mediados de la década de 1970 la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) inició el desarrollo de GLONASS basándose en las experiencias con el sistema de satélites Doppler Tsikada. La siguiente evolución del sistema quedó a cargo de M.F. Polischuk y el académico Reshetnev junto con su Empresa Estatal de Mecánica Aplicada ha sido el principal contratista responsable del desarrollo general y la implementación del sistema. Además, el desarrollo y fabricación de los satélites y sus instalaciones de lanzamiento, así como el correspondiente sistema de control, son responsabilidad de esta empresa.

Los subcontratistas son el Instituto Ruso de Investigación Científica de la Industria Espacial y el Instituto Ruso de Radionavegación y Tiempo. Estos institutos se encargan del seguimiento y control, pero

también del correcto desarrollo de receptores y relojes. Como se define en el documento de control de interfaz GLONASS publicado por el Centro de Información Científica de Coordinación (2002), el propósito de GLONASS es proporcionar un “número ilimitado de usuarios aéreos, marinos y de cualquier otro tipo con posicionamiento tridimensional, medición de velocidad y cronometraje en cualquier parte del mundo o en el espacio cercano a la Tierra”.

De forma continua, se debe agregar el significado en cualquier momento.

Operado por las fuerzas militares rusas, GLONASS es un sistema militar. Esta fue la razón por la que casi no se dio a conocer públicamente información detallada. Posteriormente, este déficit de información cambió. En mayo de 1988, en una reunión del Comité Especial sobre Futuros Sistemas de Navegación Aérea de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), se presentó un documento con detalles técnicos del GLONASS.

La URSS ofreció a la comunidad mundial el uso gratuito de las señales de navegación GLONASS. Este fue solo el primer paso para abrir el sistema a usuarios que no sean militares rusos. En marzo de 1995, el gobierno de la Federación de Rusia publicó el Decreto núm. 237 titulado "Sobre la ejecución de obras en el uso del sistema global de navegación por satélite GLONASS en beneficio de los usuarios civiles", en el que el Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia, la Federación de Rusia, la Agencia Espacial Federal y el Ministerio de Transporte de la Federación de Rusia “facilitarán el despliegue del sistema global de navegación por satélite GLONASS y el comienzo de su funcionamiento con su complemento completo en 1995 para prestar servicios a los usuarios civiles y militares nacionales y a los usuarios civiles extranjeros según los compromisos existentes”.

### Constelación de satélites GLONASS

La constelación orbital normal GLONASS está formada por 24 satélites en órbitas circulares de mediana altitud con valores nominales de altitud de 19 100 km, inclinaciones de  $-64.8^\circ$  y periodos de 11 horas 15 minutos 44 segundos. El valor del periodo ha permitido crear un sistema orbital estable que, a diferencia de las órbitas de los GPS, no requiere impulsos correctivos para su mantenimiento prácticamente durante todo el periodo de existencia activa. La inclinación nominal garantiza una disponibilidad del 100% de la navegación en el territorio de la Federación de Rusia, incluso si varios satélites abandonan la constelación orbital.

**Tabla 38.**

Características del segmento espacial de la constelación BeiDou.

<b>CONSTELACIÓN ORBITAL</b>	
Cantidad efectiva de satélites	24
Altura de la órbita	19 100 km
Cantidad de planos	3
Semieje mayor	25 420 km
Periodo	11 horas 15 minutos 44 segundos
Inclinación	64.8°





GOES 16  
Fuente: NOAA

# CONCLUSIONES

## IX. CONCLUSIONES

México comenzó a andar el sendero de las telecomunicaciones satelitales desde 1966, cuando se integró al consorcio internacional Intelsat. A lo largo del tiempo ha tenido distintas participaciones, principalmente en torno al sistema Morelos, el satélite Solidaridad, y en los años más recientes al sistema Mexsat.

En la actualidad, México explota seis posiciones geoestacionarias: a) tres posiciones FSS concesionadas a Satmex (Eutelsat Américas); una posición BSS concesionada a QuetzSat; una posición FSS asignada a Telecomm (MEXSAT) y una posición MSS asignada a Telecomm (MEXSAT).

El mercado comercial de los GEO está experimentando una mayor diversidad en las plataformas, desde el desarrollo de cargas útiles totalmente reconfigurables hasta la integración de small GEO's. A partir de 2013 dominan el número de satélites lanzados al espacio, aquellos que tienen una masa menor a 500 kg. También el mercado de lanzadores está experimentando nuevas tecnologías, lanzadores reutilizables, y lanzadores dedicados para satélites pequeños.

El despliegue de megaconstelaciones de satélites de telecomunicaciones de órbita baja para proporcionar internet en zonas donde hoy en día no hay cobertura ha venido a cambiar la perspectiva del futuro del internet de banda ancha, así como a proporcionar alternativas para el crecimiento del internet de las cosas.

En el contexto de estas constelaciones, cabe destacar que estas constituyen el mecanismo por el cual las empresas dedicadas al desarrollo y proveeduría de servicios de pequeños satélites tratarán de demostrar sus modelos de negocios comerciales y generar importantes ingresos en los próximos años. Dicha necesidad de colocar en órbita tal volumen de micro y nanosatélites, gira la atención hacia el mercado de vehículos de lanzamiento, que será indispensable desarrollar y fortalecer para atender la demanda marcada por el segmento de satélites de comunicaciones.

Por otro lado, desde los años setenta han surgido diferentes esquemas de desarrollo de plataformas para la observación de la Tierra. La resolución espacial y espectral habían sido una ventaja significativa para impulsar el negocio de la adquisición de imágenes satelitales, como ejemplo de ello están los proyectos satelitales Landsat, SPOT, WorldView o Pleiades. Pero para los desarrolladores de los nuevos esquemas de observación de la Tierra se establece como prioridad el tiempo de revisita, alcanzando valores menores a las 24 horas, a través de múltiples satélites con sensores de resolución espacial media o alta, con algunos casos en torno a los dos metros por pixel. En los últimos años la puesta en órbita de constelaciones satelitales establece el nuevo esquema de adquisición de imágenes optimizando de manera significativa los costos de implementación y la resolución temporal que se pueden lograr con múltiples satélites en órbita, creando nuevos nichos de mercado, aplicaciones y servicios en torno a la percepción remota, todo ello dentro del marco del New Space.

Se ha revisado que las proyecciones a futuro dentro del campo de observación de la Tierra estiman que podrían ser puestos en órbita entre 800 y 1100 satélites por debajo de los 50 kg entre 2020 y 2024. De estos proyectos resaltan dos ejes principales: las prioridades gubernamentales y las prioridades comerciales a nivel global. En cuanto a las principales prioridades en las agendas políticas de diversos gobiernos se encuentran el monitoreo ambiental, la seguridad alimentaria y el cambio climático. En el caso del sector comercial, los segmentos con mayor utilización serán inteligencia y defensa, entidades gubernamentales y clima. Todo esto basado en una tendencia clara del empleo de sensores ópticos, sin embargo, se espera que la demanda de proyectos SAR se incremente al 12% para 2028.

Tecnológicamente hablando, la tendencia que sigue la percepción remota es alcanzar muy altas resoluciones espaciales, con una amplia utilización de bandas espectrales y cada vez menores tiempos de revisita. Vislumbrando así, como uno de los siguientes esquemas de la percepción remota, la disponibilidad continua de imágenes, cercana al tiempo real, e incluso en formatos de video, y en diversas bandas espectrales, desde prácticamente cualquier punto de la Tierra.



Para alcanzar estos hitos algunos de los avances tecnológicos necesarios son:

- Alta capacidad de almacenamiento a bordo del orden de decenas de Tb
- Implementación de radares de apertura sintética en micro-satélites
- Muy Alta resolución espacial en nano y microsateélites
- Constelaciones de satélites con sensores hiperespectrales
- Inteligencia artificial aplicado en el procesamiento de imágenes a bordo
- Inteligencia artificial aplicado al análisis de datos en tierra
- Comunicación láser espacio-tierra en satélites pequeños
- Capacidades de almacenamiento y descarga de video en ultra alta definición para satélites pequeños

Así como el acceso por parte de los satélites a diversas estaciones terrenas, con enlaces de bajada del orden de los cientos de Mbps, cada que completan una órbita. Es así que soluciones y servicios como las estaciones terrenas bajo demanda (GSaaS) están comenzando a ser un complemento importante en los proyectos de percepción remota actuales y futuros.

Dentro del contexto nacional de observación de la Tierra, México cuenta con cinco estaciones terrenas principales: EVISMAR, ERMEX, ERIS, MODIS-CONABIO y LANOT, gracias a las cuales se puede acceder a imágenes satelitales de proyectos como SPOT, Landsat, MODIS y GOES. Sin embargo, la erogación destinada a la adquisición de imágenes satelitales por diversas instituciones gubernamentales, académicas y privadas a nivel federal llegó a alcanzar valores por encima de los 1380 millones de pesos entre 2010 y 2018. Esto es, una inversión de 150 millones de pesos anuales solo a nivel federal. En contrapartida, proyectos nacionales en surgimiento como el Sistema Integral de Observación de la Tierra, conformado por el Comité Técnico Especializado de Información Geográfica Básica, buscan generar políticas nacionales en el área de la percepción remota, fortalecer las estaciones terrenas nacionales, así como los centros de procesamiento de imágenes, unificar un inventario nacional de imágenes satelitales y establecer el marco para el desarrollo de un sistema propio de observación de la Tierra a mediano plazo.



## Retos y oportunidades

### Incrementar la capacidad de las comunicaciones satelitales nacionales a precios competitivos

- Promover el uso de nuevas tecnologías como HTS que reducen el costo por Mbits, así como los Small GEO's que reducen las barreras financieras para nuevos actores.
- Promover el uso de las posiciones actuales que no se están explotando.
- Promover el uso de nuevas frecuencias en la banda Ka, para incrementar el ancho de banda a los usuarios de datos.
- Promover la sustentabilidad de los recursos orbitales, incorporar requisitos para desorbitar los satélites al final de su vida útil.
- Promover la óptima aplicación de acuerdos de reciprocidad con satélites extranjeros.
- Promover una perspectiva de desarrollo de la industria y no sólo una perspectiva recaudatoria.
- Proteger el espectro de las telecomunicaciones satelitales contra el apetito de los sistemas terrestres.
- Adoptar las mejores prácticas de los países que han incentivado su industria satelital.
- Promover que un porcentaje de lo que se recaude por concepto de contraprestación al otorgar concesiones satelitales se asigne directamente a la AEM para el desarrollo e investigación satelital.
- Promover que un porcentaje de los componentes de los satélites que ocupen una posición orbital adjudicada o notificada por México sea de origen mexicano.
- Promover el desarrollo de una industria de diseño y fabricación de equipo terrestre para las comunicaciones satelitales. Tanto para internet satelital, como para los futuros servicios de MEXSAT.
- Promover el desarrollo de una industria de diseño y fabricación de componentes de satélites de comunicaciones.
- Establecer fechas y asegurar los presupuestos para lograr hitos en el diseño y construcción de satélites de telecomunicaciones, empezando por CubeSats.

- Garantizar desde la solicitud de la concesión la continuidad operativa de las posiciones satelitales, presentando su plan de reemplazo.
- Generar un marco regulatorio que favorezca el desarrollo de constelaciones de satélites de telecomunicaciones de órbita baja y media, y su interoperabilidad con satélites geoestacionarios.
- Promover el desarrollo del internet de las cosas satelital.

### **Incrementar las capacidades de observación del territorio nacional y su mar patrimonial**

- Promover la definición y establecimiento del sistema integral de observación de la Tierra.
- Promover el establecimiento de varios centros de procesamiento de imágenes satelitales en el país donde se explote al máximo la información contenida en dichas imágenes, a fin de atender las diferentes áreas de aplicación y el desarrollo de nuevas.
- Promover el desarrollo de una industria de diseño y fabricación de componentes para satélites de observación de la Tierra.
- Promover el desarrollo de satélites propios de observación de la Tierra para su explotación.
- Promover la cooperación con otros sistemas para mejorar la resolución espacial y espectral, así como la reducción de los tiempos de revisita.
- Promover la generación de un repositorio de imágenes satelitales de alcance nacional.
- Promover la colaboración con Argentina en materia de observación de la Tierra, para el intercambio de experiencias, particularmente con el proyecto Ñusat de Satellogic.
- Promover el desarrollo de tecnología y de servicios para la disseminación y explotación de aplicaciones derivadas del procesamiento de imágenes satelitales.

## **Fomentar el desarrollo de recursos humanos para el sector espacial**

- Promover que jóvenes se interesen en estudiar ciencias e Ingenierías para el desarrollo y adopción de ciencias y tecnologías espaciales.
- Colaborar con las universidades y demás instituciones educativas en el desarrollo de semilleros de empresas espaciales.

**Promover la vinculación de las instituciones educativas con las empresas del sector para asegurar que se estén desarrollando los recursos humanos que la industria necesita para su desarrollo.**



# ANEXO

OPERADOR	SATELITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [días]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL		
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]								
ESA  (Copernicus)	Sentinel 1A/B	SSO 693 km	C-SAR	Vv+Vh; HH+HV	5.405GHz /	NA	5 40	80 400	10	Servicios de emergencia Monitoreo de super- ficies terrestres Monitoreo de zonas árticas	Banda S 512 kbps	Banda X 8180 MHz 300 Mbps x 2 OQPSK Óptico LEO-GEO 1.8 Cbps Csaas: KSAT		
													RGB NIR Cirrus SWIR1 SWIR2	443-665 705-940 1380 1655 2190
	Sentinel 2A/B	SSO 786 km	Multies- pectral	NA	NA	NA	CA RGB NIR	400-443 490-681 708-1020	300	1,270	<2	Monitoreo de suelo y mares Observaciones topográficas	Banda S 64 kbps/ 2 Mbps	Banda X 520 Mbps
	Sentinel 3A/B	SSO 814 km	SLSTR (Radió- metro) SRAL	NA	NA	5.41 & 13.57 GHZ	MWIR TIR1 TIR2	3740 10850 12000	1,000	1,270	<1	Calidad del aire Monitoreo del ozono y tropósfera Cambio climático	Banda S 64 kbps/ 2 Mbps	Banda X 520 Mbps
	Sentinel 5P	SSO 824 km	TROPOMI (Espectró- metro)	NA	NA	UV1	UV2 UVIS Visible NIR1 NIR2 SWIR	300-320 310-405 405-500 675-725 725-775 2305-2385	7,000	2,600	<1	Banda S UL: 64 kbps DL: 571 kbps		
														UV1

OPERADOR	SATÉLITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [días]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]						
ASI	Cosmo SkyMed- 1/2/3/4	SSO 620 km	SAR-2000	9.6 GHz/ HH, VV, HV, VH	NA	NA	5 X 5	40	12 hrs	Mitigación de desastres Monitoreo de suelo y mares Agricultura	Banda S 8 kbps / 2 Mbps	Banda X 260 Mbps x 2
CONAE	SAOCOM 1A	SSO 620 km	SAOCOM-SAR	1275 MHz/ HH,VV HH+HV, VV+VH	NA	400-1010 920-2505	10 50	20 350	16	Monitoreo de desastres Agricultura Minería Oceanografía	Banda S	Banda X 310 Mbps
Surrey / 21AT	DMC3 (3)	SSO 650 km	Multies- pectral	NA	NA	450-650 440-510 510-590 600-670 760-910	1 4 4 4 4	23	1	Monitoreo de Desastres	Banda S UL/DL 19.2 kbps / 8Mbps BPSK- QPSK	Banda X 320 Mbps
Axel Space	GRUS (1/50)	SSO 600km	Multies- pectral	NA	NA	450-900 450-505 515-585 620-685 705-745 770-900	PAN: 2.5 5	57	1	Agricultura Monitoreo forestal Pesca Monitoreo de infraestructura Generación de mapas SIG Monitoreo de desastres		200 Mbps



OPERADOR	SATÉLITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [días]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL		
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]								
Chang Guang Satellite Tech- nology	Jilin (10)	SSO 650 km	Multies- pectral	NA	PAN	PAN	PAN 0.7 MS 3	11.6	0.5	Monitoreo ambiental Monitoreo de suelo Agricultura Monitoreo forestal				
					Blue	450-520								
					Green	520-600								
					Red	630-690								
Urthe Cast / Deimosli- maging	Deimos -2	SSO 630 km	HIRAIS	NA	PAN	450-900	PAN 0.75 MS 4	12	1		Banda S 32 kbps	Banda X 160 Mbps QPSK  CSaaS: KSAT		
					Blue	420-510								
					Green	510-580								
					Red	600-720								
					NIR	760-890								
ISRO	RESOURCE SAT-2/2A	SSO 817 km	LISS-3 (Multies- pectral)	NA	Green	520-590	23.5	140	5	Agricultura de precisión  Monitoreo de cultivos y fuentes de agua  Monitoreo de desastres	Banda S 2017/2250 MHz 100 bps / 16 kbps PSK	Banda X 8125 MHz 105 Mbps		
					Red	620-680								
					NIR	770-860								
					SWIR1	1550-1700								
					Green	520-590							5.8	70
					Red	620-680								
					NIR	770-860								
					SWIR1	1550-1700								
					Green	520-590	56	740						
Red	620-680													
NIR	770-860													
SWIR1	1550-1700													
					Green	500-850	2.5	30	5	Cartografía Modelos digitales de terreno GIS	Banda S 4 kbps BPSK	Banda X 105 Mbps QPSK		
Red	620-680													
NIR	770-860													
SWIR1	1550-1700													
					PAN	450-850	0.8	9.6	5		Banda S 4 kbps BPSK	Banda X 105 Mbps QPSK		
					PAN	450-850								
					PAN	450-850								
					PAN	450-850								

OPERADOR	SATELITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [días]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL					
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]											
ISRO	Cartosat 2C/ 2D/ 2E/ 2F	SSO 500km	HRMSS	NA	Blue Green Red NIR	450-520 520-590 600-690 770-890	2	10	5	Cartografía Modelos digitales de Terreno GIS	Banda S 20167 MHz 4 kbps BPSK	Banda X 8125 MHz 105 Mbps QPSK					
			PAN	NA	PAN	450-850	0,65	9,6									
	RISAT-1	SSO 536 km	RISAT-SAR	5.350 GHz/ Single Dua Quad Circular	NA	NA	0,67-55	10-223	12	Agricultura Geología Monitoreo de costas, inundaciones	Banda S 4 kbps PSK	Banda X 320 Mbps x 2 QPSK					
	RISAT-2	548 km; 41°	XSAR	9.59 GHz/ HH, HV, VH, VV	NA	NA	1-8	10-120	4	Mitigación de desastres		Banda X 620 Mbps					
	OCEANSAT2	SSO 720 km	OSCAT	NA	13.5 GHz/ HH, VV	CA	404-451	360	1,440	2	Oceanografía	Banda S 2071 / 2250 MHz 4 /16 kbps PCM/ PSK/PM	Banda X 8300 MHz 42 Mbps QPSK				
						Blue Green Red NIR	476-520 546-566 610-630 725-885										
	Megha- Trophiques	865 km ; 20°	MADRAS	NA	18.7 GHz 23.8 GHz 36.5 GHz 89 GHz 157 GHz H+V	NA	40 x 66 km 40 x 63 km 40 x 63 km 10 x 16 km 6 x 9 km	1,700	7	Meteorológico		Banda S 2071 / 2250 MHz 4 /16 kbps PCM/ PSK/PM	Banda S 2280 MHz BPSK 2.6 Mbps				
							ScarAB							Visible Solar Radia- ción total TIR	550-650 200-4000 200-100,000 10,500-12,500	60	3,300
							Saphir							NA	NA	10	1,700

OPERADOR	SATÉLITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [cías]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]						
<b>ISRO</b>	SARAL	SSO 800 km	AltiKa (altímetro)	35.75 GHz	NA	NA				Oceanografía Meteorología	Banda S 4 kbps FM/PSK/ PCM	Banda X 32 Mbps CCSDS
	SCATSAT-1	SSO 720 km	OSCAT-2	13.5 GHz/ HH VV	NA	50 x 50 km 25 x 25 km	1400 1840			Oceanografía Meteorología	Banda S	Banda X 105 Mbps
	GCOM-C	SSO 798 km	SGLI	NA	VNIR 380-868 SWIR 1 1050 SWIR 2 1380 SWIR 3 1630 SWIR 4 2210 TIR 1 10800 TIR 2 12000	250 1000 1000 250 1000 500 500	1150 (VNIR) 1400 (TIR)	2	Estudios atmosféricos	Banda S 29.4 kbps 1 Mbps (QPSK)	Banda X 8105 MHz 138 Mbps OQPSK GSaaS: KSAT	
<b>JAXA</b>	GCOM-W	SSO 700 km	AMSR2	6.9 GHz 7.3 GHz 10.6 GHz 18.7 GHz 23.8 GHz 36.5 GHz 89 GHz / V & H	NA	10km 5km@ 89 GHz	1,450		2	Cambio climático Oceanografía Meteorología	Banda S 29.4 kbps 1 Mbps (QPSK)	Banda X 8105 MHz 20 Mbps QPSK GSaaS: KSAT
	GOSAT	SSO 666 km	TANSO-FTS  TANSO-CAI	NA  NA	Visible SWIR 1 SWIR 2 MWIR TIR UV Visible SWIR	1000 1000 1000 1500 1500 500 500 500 1500	1000 1000 1000 750 750 1000	3  3	Gases de efecto invernadero	Banda S 2 kbps/ 30 kbps	Banda X 120 Mbps	

OPERADOR	SATELITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [días]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL	
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]							
JAXA	GOSAT-2	SSO 613 km	TANSO-FIS	NA	Visible SWIR MWIR TIR	750-770 1590-1670 2040-2080 5500-14300	1000	1000	3	Gases de efecto invernadero	Banda S 2 kbps/ 30 kbps	Banda X 120 Mbps	
			TANSO-CAI-2	NA	UV Visible SWIR	333-353 433-453 664-684 859-879 1585-1675	460	1000	3				
			DPR-KAPR	35.5 GHz H, V	NA	NA	5000	120					
	GPM	407 km; 65°	DPR-KUPR	13.6 GHz H, V	NA	5000	245	7	Precipitación global Cambio climático Ciclo del agua	Banda S 230 kbps	Banda S 2.3 Mbps		
			TRMM KUPR	13.8 GHz H, V	NA	4300	215						
			PALSAR-2	1236, 1257, 1278 MHz/ Single, Dual, Quad, CP	NA	3 x 1 (Spotlight) 100 (ScansAR)	25 x 25 (Spotlight) 350 (ScansAR)	14	Cartografía Observación Agricultura Monitoreo de desastres Monitoreo ambiental	Banda X 800 Mbps 16 QAM/ QPSK			
	NASA	AQUA	SSO 705 km	MODIS	NA	TIR	800 - 1200	200	96	16	Monitoreo de costas	Banda S	Banda X CCSDS
						CA	405-448	1,000				Monitoreo de desastres	
		MODIS	Blue	459-479	500					Monitoreo de desastres			
			Blue	483-536	1,000					Agricultura			
Green			545-565	500					Minería				
Red			620-670	250					Agricultura				
NIR1			743-941	1,000					Geología				
NIR2			841-876	250					Monitoreo de costas				
Cirrus			1360-1390	1,000					Monitoreo de desastres				
SWIR1			1628-1652	500					Agricultura				
SWIR2	2105-2155	500					Minería						
MWIR	3929-4549	1,000					Agricultura						
VV-1	6535-6895	1,000					Geología						
VV-2	7175-7475	1,000											
TIR	8400- 14385	1,000											

OPERADOR	SATÉLITE	ÓRBITA	SENSOR	FRECUENCIA/ POLARIZACIÓN	BANDAS ESPECTRALES		RESOLUCIÓN ESPACIAL [m]	SWATH [km]	REVISITA [días]	APLICACIONES	TT & C UL/DL	PAYLOAD DL	
					BANDA	LONGITUD DE ONDA [nm]							
NASA	Landsat 7	SSO 705 km	ETM+	NA	PAN	520-900	15	185	16		Banda S 2106/2287 MHz 1.2 kbps/ 256 kbps	Banda X 8082 -8342 MHz 150 Mbps x3	
					Blue	450-520	30						
	Landsat 8/9	SSO 705 km	OLI	NA	Green	520-600	30	15 (PAN) 30	185	8	Monitoreo de desastres Agricultura Minería Agricultura Geología Monitoreo de costas Monitoreo de desastres Agricultura Minería Agricultura Geología Monitoreo de costas	Banda X 8200 MHz 440 Mbps	
					Red	630-690	30						
					NIR	775-900	30						
					SWIR1	1550-1750	30						
					SWIR2	2090-2350	30						
					TIR	10400- 12500	60						
					PAN	503-676							
					CA	435-451							
Blue	452-512												
Planet Labs	Planet Scope (120+)	SSO 475 km 400km; 51.6° 400km; 51.6°	Multies- pectral	NA	Blue	455-515	3.7	20 x 12	<1		VHF 1200 Bauds/s AFSK	Banda X 330 Mbps DVB-S2	
					Red	500-590							
	RAPID EYE (5)	SSO 630 km	Multies- pectral	NA	Green	590-670	6.5	77	1 (off.nadir) 6 (nadir)		Banda X UL/DL 9.6 / 38.4 kbps QPSK	Banda X 8.25 - 8.4 GHz 80 Mbps GSAaS: KSAT	
					Red	690-730							
					Edg-e	760-850							
	SKYSAT (15)	500km	Multies- pectral	NA	PAN	450-900	1 PAN 0.86	6.6 x 10	5		Banda X 64kbps Banda S 32 kbps	Banda X 580 Mbps	
					Blue	450-515							
						Green	515-595						
						Red	605-695						
						NIR	740-900						



# REFERENCIAS

- [1] Gobierno de la República (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. México: Gobierno de la República, 2019, pp. 1-2.
- 
- [2] Agencia Espacial Mexicana “Programa Nacional de Actividades Espaciales 2013-2018”. Acuerdo por el que se expide el Programa Nacional de Actividades Espaciales. *Diario Oficial de la Federación*, pp. 14, 15, 17, 19, 20. (abril de 2015).
- 
- [3] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2020). Programa Sectorial de Comunicaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes 2020-2024. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pp. 19 - 20.
- 
- [4] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (15 de mayo de 2018). Acuerdo por el que se establece la política en materia satelital del Gobierno Federal. *Diario Oficial de la Federación*. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/27y7fvw4> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [5] “Capítulo 1. Satélites Geoestacionarios”. Notas Universidad Nacional Autónoma de México. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p8d9nba> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [6] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2015). El sistema satelital mexicano. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/nhtxsutd> 
- 
- [7] Instituto Federal de Telecomunicaciones (2013). Regulación Satelital en México, Estudio y Acciones. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/ye66zjkk> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [8] “Evolving Satellite Communications. ITU’s role in a brave new world”, *ITUNews Magazine*, núm. 2, 2019.
- 
- [9] Instituto Federal de Telecomunicaciones (2015). Los recursos orbitales en México. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/35js5588> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [10] Agencia Espacial Mexicana, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (s.f.). Guía de orientación regulatoria para satélites pequeños no sujetos a coordinación. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/bdyf5c7n> Consultado el 6 de mayo de 2020. 

- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones (junio de 2014). “Aspectos económicos de la gestión del espectro”. Informe UIT-R SM. 2012-4. Serie SM Gestión del Espectro. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/525b66eh> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [12] R. S. Jahku (2010). “National Regulation of Space Activities”, vol. 5 Space Regulations Library. Ed: Springer Science & Business Media. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/4be8ndm6> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [13] United States Federal Communications Commission (2008). “FCC Record: A Comprehensive Compilation of Decisions, Reports, Public Notices, and Other Documents of the Federal Communications Commission of the United States”. Report and Order Further Notice of Proposed RuleMaking in IB Docket NO. 02-34. Vol 23, Tema 18, First. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/t9v5b3me> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [14] OfCom (14 de marzo de 2019). Procedures for the Management of Satellite Filings. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/ywxyrm67> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [15] L. de Gouyon Matignon (13 de mayo de 2020). The first come, first served technique in space law. Space legal issues. [Online]. Disponible en: <https://tinyurl.com/54j5hzd3> Consultado el 16 de mayo de 2020. 
- 
- [16] Nordicity (noviembre de 2010). Study on the Global Practices for Assigning Satellite Licences and Other Elements. [Online] Disponible en <https://tinyurl.com/yxbbya9n> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [17] National Aeronautics and Space Administration (febrero de 2016). An Introduction to National Aeronautics and Space Administration Spectrum Management. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3a2un6p2> Consultado el 6 de mayo de 2020. 
- 
- [18] Bryce Space and Technology (2017). Global Space Industry Dynamics: Research Paper for Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science by Bryce Space and Technology, LLC. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3f45mb3p> Consultado el 23 de abril de 2020. 

- [19] Newtec (28 de septiembre de 2018). Getting the Most out of High Throughput Satellites: Embracing HTS Connectivity Services: Your HTS Platform Benefits. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2pyjetem> Consultado el 17 de abril de 2020. 
- 
- [20] A. Tanenbaum y D. Wetherral (2012). Redes de computadoras. México: Pearson Educación, pp. 102.
- 
- [21] Northern Sky Research (2020). White Paper: Ground Network Virtualization. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/5ahhmdnn> Consultado el 7 de mayo de 2020. 
- 
- [22] Bryce (2017). State of the Satellite Industry Report 2017. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mr3uy8zn> Consultado el 25 de abril de 2020. 
- 
- [23] Space News (2020). Geostationary satellite orders bouncing back. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p87uvm2> Consultado el 19 de abril de 2020. 
- 
- [24] OECD iLibrary (julio de 2019). The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy . Chapter 6. A new satellite communications environment. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/574ctrpj> Consultado el 13 de abril de 2020. 
- 
- [25] XLabs Wireless, ABI Research, Huawei Lab (2020). 5G applications market potential readiness matrix. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p92tby7> Consultado el 11 de mayo de 2020. 
- 
- [26] Satellite markets (6 de noviembre de 2019). HTS the key to 480 +Gbps of GovMil Bandwith Consumption by 2028. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yv2myz35> 
- 
- [27] Satellite Industry Association (2019). Prepared by Bryce. State of the Satellite Industry Report 2019. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3hf47539> 
- 
- [28] M. Jarrold (3 de enero de 2020). Industry Trends - News Analysis - Market Intelligence and Opportunities A 20:20 View: Satellite and the Cloud [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9bcvzm> 

[29] Northern Sky Research (2020). In-orbit servicing & space situational awareness markets, 3ra ed. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2nfhhv4v>



[30] R.E. Hudson (2017). Broadband High-Throughput Satellites. En: J. Pelton, S. Madry, S. Camacho-Lara (eds). Handbook of Satellite Applications. Ed: Springer, pp. 213-247. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3tdkscjs>



[31] Satellite Markets (20 de noviembre de 2019). Satellite Operators Market Survey Reveal Shifting Strategies and New Entrants. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mtvyvcj7>



[32] S. Daughtride (s.f.). "Next Decade in Space innovation", Satellite Markets and Research. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p8mzrya>



[33] Satellite Markets and Research (2019). Industry Trends - News Analysis - Market Intelligence and Opportunities Satellite Broadband Market to Soar Past US\$189 Billion in Cumulative Revenue in Next Decade. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yj4pa4ud>



[34] SES (septiembre de 2018). "Investor presentation". SES. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9fa85u> Consultado el 17 de abril de 2020.



[35] The Competitive Intelligence Unit (24 de mayo de 2020). Despliegue de 5G en Latinoamérica, los impactos previsibles de Covid 2019. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yu4patk2> Consultado el 25 de mayo de 2020.



[36] Unión Internacional de Telecomunicaciones (diciembre de 2019). 5G - Fifth generation of mobile technologies. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mwrz8r7h> Consultado el 25 de mayo de 2020.



[37] Frost & Sullivan (23 de octubre de 2017). European Space Agency. Mega 1: Connectivity and Convergence. Obtenido de Mega Trends. Workshop. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/9wkuy574> Consultado el 25 de abril de 2020.



[38] J. de Loor (13 de junio de 2016). Getting the most out of High throughput satellites (HTS).Newtec. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2afyds88> Consultado el 24 de mayo de 2020.



- [39] Serrano-Velarde, E. Lance, H. Fenech y G. E. Rodríguez Guisantes (2014). "Novel dimensioning method for high-throughput satellites: forward link" en IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 50. En núm. 3, pp. 2146-2163. doi: 10.1109/TAES.2014.120429.
- 
- [40] H. Fenech, S. Amos, A. Hirsch y V. Soumpholphakdy (2017). "VHTS systems: Requirements and evolution, "11th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), París, pp. 2409-2412, doi: 10.23919/EuCAP.2017.7928175.
- 
- [41] Eutelsat (2020). Resources / Glossary. Satellite Terminology. [Online].  
 Disponible en <https://tinyurl.com/ezfxk9mk>  
 Consultado el 27 de mayo de 2020. 
- 
- [42] Satellite Markets & Research (10 de marzo de 2020). Cumulative 10-year Forecast for HTS Satellite to Reach US\$ 85 Bill by 2028. [Online].  
 Disponible en <https://tinyurl.com/3vkwjnb7>  
 Consultado el 18 de mayo de 2020. 
- 
- [43] Y. Guan, F. Geng y J. H. Saleh (1º de mayo de 2019), "Review of High Throughput Satellites: Market Disruptions, Affordability-Throughput Map, and the Cost Per Bit/Second Decision Tree" en IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 34, núm. 5, pp. 64-80, doi: 10.1109/MAES.2019.2916506.
- 
- [44] Unión Internacional de Comunicaciones (s.f.). Términos y definiciones. Normativa: Radiocomunicaciones (UIT-R). [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2nyzcxk>  
 Consultado el 28 de mayo de 2020. 
- 
- [45] INMARSAT (2017). "Satélites de Alto Rendimiento". ITU Seminario Regional de Radiocomunicaciones. RRS-17 Americas. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/jbvfundx>  
 Consultado el 26 de mayo de 2020. 
- 
- [46] D. Oren (noviembre de 2015). "HTS Is Knocking On Your Door... Are You Ready?" A Gilat Satellite Networks Perspective. SatMagazine. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yw299833>  
 Consultado el 27 de mayo de 2020. 
- 
- [47] DeLoor, J. (enero de 2020). Is Satellite Technology Entering A New Lifecycle? Sat Magazine de Satnews. [Online].  
 Disponible en <https://tinyurl.com/bdfd5mm9>  
 Consultado el 24 de agosto de 2020. 
- 
- [48] SES (15 de enero de 2018). "SES-15 Enters Commercial Service to Serve the Americas". [Sitio oficial: Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3battdmy>  
 Consultado el 25 de mayo de 2020. 

[49] Hughes (2020). High-throughput Satellite Constellation. [Sitio oficial: Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2vfu38b6> Consultado el 19 de mayo de 2020.



[50] Eutelsat (2020). Future Satellites. Expanding and renewing our satellite fleet. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2tty66yx> Consultado el 24 de mayo de 2020.



[51] Eutelsat (2020). Satélites. 172° East. [Documento Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yk8buukd> Consultado el 27 de mayo de 2020.



[52] Eutelsat (s.f.). Satellite Eutelsat 172B. [Documento Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2s36n52a> Consultado el 27 de mayo de 2020.



[53] Airbus (4 de junio de 2018). Airbus-built SES-12 dual-mission satellite successfully launched. [Sitio oficial: Online] Disponible en <https://tinyurl.com/2p8u9w29> Consultado el 27 de mayo de 2020.



[54] Satbeams (2020). Base de datos en línea. Norad 42709, 43562. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/5rxn6za6> Consultado el 26 de mayo de 2020.



[55] SES (2018). SES-12 elevating experience Asia. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/bd73p7xb> Consultado el 27 de mayo de 2020.



[56] M. Torrieri (enero 2020). "VHTS: Soaring to Unprecedented Heights". Via Satellite. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/42vwtn4y> Consultado el 21 de mayo de 2020.



[57] O. Nikam (2 de abril de 2020). Prospects in the OTT Via Satellite Market. Satellite Markets and Research. [Revista, Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3f66jjvm> Consultado el 15 de mayo de 2020.



[58] Viasat (s.f.). High Capacity Satellites. Transforming Satellite Communications. [Sitio web, Online] Disponible en <https://tinyurl.com/5eddzkt3> Consultado el 27 de mayo de 2020.



- [59] B. Curcio (1º de agosto de 2016). "Gigabits Galore: The GEO-HTS Impact on Supply. Con datos de NSR.". Talksatellite - EMEA. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/bdHz3t42> Consultado el 27 de mayo de 2020. 
- 
- [60] Comité para el Uso Pacífico del Espacio Exterior, subcomité científico y técnico (18 de febrero de 2019). Unidad Internacional de Telecomunicaciones. ITU Radiocommunication Bureau 2018 Annual Space Report to the STSC 2019 Session on the use of geostationary-satellite Orbit (GSO) and other orbits. Viena. ID: A/AC.105/C.1/2019/CRP.13.
- 
- [61] Satellite Markets & Research (9 de septiembre de 2019). NSR report finds larger satellites still long-term growth market. 1155 satellites over 500kg to be ordered over the next decade. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/5n6eyzpv> Consultado el 21 de abril de 2020. 
- 
- [62] P. B. de Selding (10 de noviembre de 2015). ViaSat Willing To Bet Big on Super-high-throughput Satellites. Space News [Revista Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/bd8ruz75> Consultado el 24 de abril de 2020. 
- 
- [63] Viasat (2017). Viasat and Boeing Proceeding with Full Construction on the First Two Viasat-3 Satellites. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mrjxbsve> Consultado el 27 de mayo de 2020. 
- 
- [64] ProMéxico *et al.* (2014). Mapa de ruta para el internet de las cosas. 1a. ed. México.
- 
- [65] GSM Association (2016). "5G Spectrum". Public Policy Position. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yvbw9w23> Consultado el 18 de mayo de 2020. 
- 
- [66] SES (2017). The role of satellite in 5G. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/4sea39z8> Consultado el 19 de abril de 2020. 
- 
- [67] GSMA Intelligence (2014). Analysis Understanding 5G: Perspectives on future, technological advancements in mobile. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3dvktvub> Consultado el 28 de mayo de 2020. 
- 
- [68] BRYCE Space and Technology (2019). 2019 Global Space Economy at a glance. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3hf47539> Consultado el 30 de octubre de 2020. 

[69] Secretaría de Economía (2018). Dirección General de Normas, Norma Mexicana Sistemas espaciales - Diseo de satélites CUBESATS - Requisitos y Clasificación, NMX-AE-001-SCFI-2018, pp. 21.

---

[70] Deloitte Insights (2019). Technology, Media, and Telecommunications Predictions 2020, pp. 46-57.

---

[71] Federal Aviation Administration (2018). The Annual Compendium of Commercial Space Transportation. Bryce Space and Technology, pp. 9, 45, 46, 48, 57.

---

[72] Wikipedia (s.f.). Teledesic [Repositorio Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9bzpuf> Consultado el 5 de mayo de 2020.



[73] B. Doncaster (s.f.). "2020 Nano/Microsatellite Market Forecast 10th Edition". SpaceWorks Enterprise, Inc. Atlanta, GA., pp. 12, 14, 17, 19, 21, 26, 27.

---

[74] BRYCE Space and Technology (s.f.). "Smallsats by the numbers 2020", pp. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 19.

---

[75] Airbus (22 de enero de 2019). OneWeb Satellites ha enviado los primeros satélites para la constelación OneWeb a su punto de lanzamiento. [Sitio oficial Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/yedce3fs> Consultado el 5 de mayo de 2020.



[76] I. del Portilloa, B. G. Cameron, E. F. Crawley (2018). "A Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband". Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, pp. 1-16.

---

[77] Business Today (19 de marzo de 2019). [Revista Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mr2kwyrw> Consultado el 28 de abril de 2020.



[78] S. Segan (3 de noviembre de 2020). Comprobado: El servicio de Internet satelital de Starlink de SpaceX es muy rápido, pero te costará. *Entrepreneur*. [Revista Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/h3v3rsaa> Consultado el 4 de diciembre de 2020.



[79] CNN (s.f.). Oneweb satellite internet launch. [Noticias Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mrxutx3n> Consultado el 5 de mayo de 2020.



[80] Wikipedia (s.f.). One web satellite constellation. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2wsn5j8f> Consultado el 28 de abril de 2020.



[81] C. Henry (21 de marzo de 2020). Soyuz launches 34 OneWeb satellites. *Space News* [Revista Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2s4hyjfa> Consultado el 5 de mayo de 2020.



[82] One web (27 de marzo de 2020). OneWeb Files for Chapter 11 Restructuring to Execute Sale Process. [Sitio oficial Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2yt7hnce> Consultado el 6 de mayo de 2020.



[83] C. Henry (29 de marzo de 2018). FCC approves SpaceX constellation, denies waiver for easier deployment deadline. *Space News* [Revista Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p8cf5f6> Consultado el 5 de mayo de 2020.



[84] C. Williams, B. Doncaster y J. Shulman (2018). "2018 Nano/Microsatellite Market Forecast 8th Edition". Atlanta: SpaceWorks Enterprise Inc., pp. 4, 18.

[85] S. del Pozo, C. Williams y B. Doncaster (2019). "2019 Nano/Microsatellite Market Forecast 9th Edition". Atlanta: SpaceWorks Enterprise, Inc., pp. 6, 23.

[86] T. Halt, A. Wiegler, N. Boensch, A. Dolgoplov, P. Smith y A. Hernandez (2019). "Smallsats by the numbers 2019". Estados Unidos: BRYCE Space and Technology, pp. 4, 8.

[87] Spaceflight (2020)., "Smallsat launch delays 2020". Estados Unidos: BRYCE Space and Technology, pp. 1-2.

[88] Space works (28 de enero de 2019). A Different Approach: Vertical Integration in Satellite Manufacturing. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3bwr789t> Consultado el 22 de mayo de 2020.



[89] Satellite Technologies For Iot Applications (2017). Lot Uk. Londres: Digital Catapult, pp. 1-10.

[90] UIT (Ginebra, 5 noviembre 2019). Nuevos datos de la UIT indican que, pese a la mayor implantación de Internet, la brecha de género digital sigue creciendo. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9btjyy> Consultado el 9 de noviembre de 2019.



[91] Wikipedia (s.f.). Globalstar. [Online].  
Disponible en <https://tinyurl.com/4b5pc9ub>  
Consultado el 9 de noviembre de 2020.



[92] Cabinet Office Government Digital Service (3 de julio de 2020). UK government to acquire cutting-edge satellite network. Disponible en <https://tinyurl.com/568sd8pk>  
Consultado el 22 de noviembre de 2020.



[93] Cristian Rus (22 de noviembre de 2020). OneWeb resucita de la bancarrota, lanzará de nuevo satélites para plantar cara a Starlink el próximo 17 de diciembre. Xataka. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9yrk3r>  
Consultado el 22 de noviembre de 2020.



[94] Europapress (20 de noviembre de 2020). OneWeb sale de concurso de acreedores y nombra consejero delegado a Neil Masterson. Disponible en <https://tinyurl.com/2p83k8cn>  
Consultado el 22 de noviembre de 2020.



[95] Wikipedia (s.f.). Starlink. [Online].  
Disponible en <https://tinyurl.com/2p9ejj8d>  
Consultado el 22 de noviembre de 2020.



[96] Calum Handforth (1º de noviembre de 2019). Digital inclusion is not negotiable. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9h6466>  
Consultado el 9 de noviembre de 2020.



[97] G. Denis, A. Claverie, X. Pasco, J. P. Darnis, de Maupeou, M. Lafaye, E. Morel (2017). "Towards disruptions in Earth observation? New Earth Observation systems and markets evolution: Possible scenarios and impacts". Elsevier.

[98] National Research Council (2013). Landsat and Beyond: Sustaining and Enhancing the Nation's Land Imaging Program. Washington, D.C.: The National Academies Press. Disponible en <https://tinyurl.com/2p8f58u9>



[99] A. Keith (2015). "EO embracing the new space environment: the significance of EO smallsat constellations". Earth Imaging Journal, Canada: Euroconsult.

[100] European Commission (febrero de 2019). Update of the Copernicus Market Report. Prepared by PwC. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.

[101] Newspace Index (s.f.). Base de datos. [Online].  
Disponible en <https://tinyurl.com/2p8jajhh>  
Consultado el 6 de mayo de 2020.



[102]	M. Costa Rabionet (junio de 2019). "Study of future perspectives of micro/nanosatellites constellations in the Earth Observation market." Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelonatech, reporte maestría.	
[103]	D. Kasaboski (8 de enero de 2020). "The Future of Satellite-Based Earth Observation." Northern Sky Research. [Sitio Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/36fha724">https://tinyurl.com/36fha724</a> Consultado el 20 de mayo de 2020	
[104]	"Remote Sensing Technology Trends and Agriculture". Digital Globe White Paper.	
[105]	C. Loyd (14 de junio de 2013). Landsat 8 Bands. NASA Landsat Science. [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/2p9ytcvu">https://tinyurl.com/2p9ytcvu</a> Consultado el 14 de abril de 2020.	
[106]	R. Bedi (5 de mayo de 2020). On-board mass memory requirements for the new space age. EDN. [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/yc5ayvup">https://tinyurl.com/yc5ayvup</a> Consultado el 20 de mayo de 2020.	
[107]	EOPortal directory (s.f.). Sharing Earth Observation Resources. [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/yc44646y">https://tinyurl.com/yc44646y</a> Consultado el 20 de mayo de 2020.	
[108]	DDC (s.f.). Rad Hard NAND Flash Memory. [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/ye2xfbft">https://tinyurl.com/ye2xfbft</a> Consultado el 20 de mayo de 2020.	
[109]	EoPortal (s.f.). Copernicus: Sentinel-2 — The Optical Imaging Mission for Land Services. [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/mrxxuvc3">https://tinyurl.com/mrxxuvc3</a> Consultado el 20 de mayo de 2020.	
[110]	NASA EarthData (s.f.). What is Synthetic Aperture Radar? [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/47muacds">https://tinyurl.com/47muacds</a> Consultado el 20 de mayo de 2020.	
[111]	A. da Silva Curiel, P. Whittaker, R. Bird, A. Haslehurst, P. Nejadi, V. Irwing, A. Cawthorne, C. Underwood y M. Sweeting (s.f.). Synthetic Aperture Radar on a nanosatellite - is it possible? Surrey Space Centre.	
[112]	Kongsberg Satellite Services (s.f.). Ground Station Services [Online]. Disponible en <a href="https://tinyurl.com/bdhzs2th">https://tinyurl.com/bdhzs2th</a> Consultado el 6 de mayo de 2020.	

- [113] L. Namikawa, E. Castejon y L. Fonseca (2009). "Digital Image Processing in Remote Sensing." En 2009 Tutorials of the XXII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, Río de Janeiro, Brasil, pp. 59-71. doi: 10.1109/SIBGRAPI-Tutorials.2009.13
- 
- [114] J. A. Richards (1993). Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Berlín: Springer-Verlag.
- 
- [115] R. C. Gonzalez y R. E. Woods (2007). Digital Image Processing. Prentice Hall.
- 
- [116] Teledet (s.f.) Imágenes satelitales. Clasificación. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/5drm5cf3> Consultado el 20 de mayo de 2020. 
- 
- [117] NASA Earth Data (s.f.). Geographic Information Systems (GIS). [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/35vuhm8j> Consultado el 20 de mayo de 2020. 
- 
- [118] Man.r geolocated data hub (s.f.) Satellite Imagery New Challenges. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/5yc7zmf7> Consultado el 20 de mayo de 2020. 
- 
- [119] Orbital Insight (s.f.). [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/445b8ftz> Consultado el 20 de mayo de 2020. 
- 
- [120] Descartes labs (s.f.). [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/bd79wmcb> Consultado el 20 de mayo de 2020. 
- 
- [121] Space know. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2tcwy32d> Consultado el 20 de mayo de 2020. 
- 
- [122] Earthcube. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/mr3hrcej> Consultado el 20 de mayo de 2020. 

- [123] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (19 de noviembre de 2020). Diagnóstico sobre los usos y necesidades de imágenes de satélite en el marco del grupo de trabajo de imágenes de satélite y fotografía aérea. [Documento, Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/2jvdbvms>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.
- [124] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (15 de marzo de 2017). Antena ERMEX. Monitoreando el mosaico mexicano desde el espacio. [Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/bd5b8zj7>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.
- [125] Ecosur (2015). Imágenes Satelitales (ERMEXs-ERIS). Estación México receptora de imágenes de satélite de la constelación SPOT (ERMEXS). [Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/msjf7mkd>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.
- [126] Secretaría de Marina (25 de enero de 2015). Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución. [Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/yr9c5mbx>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.
- [127] Universidad Nacional Autónoma de México (junio de 2020). Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra. UNAM. [Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/yc2udnae>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.
- [128] R. Aguirre Gómez (agosto de 2018). Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Scielo. [Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/43wwffe4>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.
- [129] CONABIO (s.f.). Sistema de recepción y procesamiento de imágenes de satélite del sensor MODIS.  
Disponibile en <https://tinyurl.com/2p85rya5>  
Consultado el 9 de noviembre de 2020.
- [130] Agencia Espacial Mexicana (31 de marzo de 2017). Integran a México al Sistema Satelital Geonetcast-Americas. Red de cooperación internacional útil para protección de la población ante desastres naturales. [Online].  
Disponibile en <https://tinyurl.com/9chdzm3>  
Consultado el 24 de agosto de 2020.

- [131] Redacción A21 (5 de junio de 2020). Modernizará AEM infraestructura satelital contra desastres. Disponible en <https://tinyurl.com/5yfanfc4> Consultado el 9 de noviembre de 2020. 
- 
- [132] M. Sozzi, F. Marinello A. Pezzuolo y L. Sartori. "Benchmark of Satellites Image Services for Precision Agricultural use", AgEng conference, Wageningen, Países Bajos. 8 a 12 de julio de 2018.
- 
- [133] D. A. Padilla Pérez y A. Solís Villegas (2018). Focalización de la Adquisición de las Imágenes Satelitales en el Ámbito Federal. Cuestionario para conocer en dónde se utilizan imágenes satelitales en el ámbito federal. México: Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo Aeroespacial.
- 
- [134] E. Hernández García (noviembre de 2015). "Estaciones de recepción de imágenes de satélite ERMEXS y ERMEXNG." Memoria de experiencia profesional. México: Instituto Politécnico Nacional.
- 
- [135] INEGI (18 septiembre 2017). Acuerdo por el que se aprueba la Norma Técnica para la obtención y distribución de Imágenes Satelitales con fines estadísticos y geográficos. Diario Oficial de la Federación. [Online] Disponible en: <https://tinyurl.com/mr4fbbwd> Consultado el 24 de agosto de 2020. 
- 
- [136] INEGI (2016). Imágenes de Alta resolución. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p98kaux> Consultado el 24 de agosto de 2020. 
- 
- [137] INEGI (s.f.) Mapas. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9a3jyr> Consultado el 9 de noviembre de 2020. 
- 
- [138] Euroconsult (2019). [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/3vh8n6hr> Consultado el 9 de marzo de 2020. 
- 
- [139] INEGI (2020). Banco de Información Económica. Comunicaciones y Transportes. Terminales instaladas del servicio móvil nacional de Telecomm. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p8hh6cm> Consultado el 2 de septiembre de 2020. 

**[140]** INEGI (2020). Banco de Información Económica. Comunicaciones y Transportes. Principales características de los servicios satelitales de Telecomm. [Online]. Disponible en <https://tinyurl.com/2p8hh6cm> Consultado el 2 de septiembre de 2020.



**[A]** Jewett Rachel. 2046; Satellite's Multi-Orbit Future In Sight. Via Satellite, 2021. Disponible en <https://tinyurl.com/2p9a28fb>



**[B]** Hughes Inc. JUPITER High Throughput SatelliteFleet. Disponible en <https://tinyurl.com/49um7r4t>



**[C]** Viasat. Viasat's high-capacity satellite systems are transforming satellite communications. Disponible en <https://tinyurl.com/53wwxw7h>



**[D]** AIRBUS. Telecommunications Satellites. Disponible en <https://tinyurl.com/tskzbyyn>



<sup>1</sup> Independientemente de la masa y la aplicación.

<sup>2</sup> Datos de Banxico





# ABREVIATURAS

<b>AEM</b>	Agencia Espacial Mexicana
<b>ARN</b>	Autoridades Regulatoras Nacionales
<b>ASI</b>	Agencia Espacial Italiana
<b>Backhauling</b>	Comunicación de enlace de retroceso. Transporte de las señales de comunicación combinadas de la estación de base a la estación central. [44]
<b>Beacon</b>	Una señal de radiofrecuencia altamente estable, es utilizada por estaciones terrenas equipadas con un sistema automático de rastreo satelital. [41]
<b>Beam</b>	Flujo unidireccional de ondas de radio concentradas en una dirección en particular. La intersección de un beam satelital con la superficie de la Tierra se denomina huella del <i>beam</i> . [41]
<b>BER</b>	Tasa de errores de bit, por sus siglas en inglés
<b>BSS</b>	Servicio de radiodifusión por satélite, por sus siglas en inglés
<b>BW</b>	Ancho de banda, por sus siglas en inglés
<b>CA</b>	Coastal Aerosol
<b>CCE</b>	Comité de Comunicaciones Electrónicas
<b>CDA</b>	Centro de Desarrollo Aeroespacial
<b>CENAPRED</b>	Centro Nacional para la Prevención de Desastres
<b>CEPT</b>	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones
<b>CIATEQ</b>	Centro de Tecnología Avanzada
<b>CICESE</b>	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
<b>CITEL</b>	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
<b>CMR</b>	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
<b>CNES</b>	Centro Nacional de Estudios Espaciales, por sus siglas en francés

<b>CONABIO</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CONACyT</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
<b>CONAE</b>	Comisión Nacional de Actividades Espaciales
<b>CONAGUA</b>	Comisión Nacional del Agua
<b>CPPU</b>	Costo promedio por unidad
<b>CTEIGB</b>	Comité Técnico Especializado de Información Geográfica Básica
<b>DGGMA</b>	Dirección General de Geografía y Medio Ambiente
<b>DL</b>	Downlink (Enlace de bajada)
<b>DLR</b>	Agencia Espacial Alemana, por sus siglas en alemán
<b>DMC</b>	Constelación de Monitoreo de Desastres, por sus siglas en inglés
<b>DRA</b>	Matriz de radiación directa, por sus siglas en inglés
<b>DRM</b>	Gestión dinámica de asignación de recursos, por sus siglas en inglés
<b>DTH</b>	Televisión directa al hogar, por sus siglas en inglés
<b>EAN</b>	Red Europea de Aviación, por sus siglas en inglés
<b>EIRP</b>	Potencia isotrópica radiada equivalente, por sus siglas en inglés
<b>EO</b>	Observación de la Tierra, por sus siglas en inglés
<b>ERIS</b>	Estación de Recepción de Información Satelital
<b>ERMEX</b>	Estación de Recepción México
<b>ESA</b>	Agencia Espacial Europea, por sus siglas en inglés
<b>ESIM</b>	Estaciones terrenas en movimiento, por sus siglas en inglés

<b>EVISMAR</b>	Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución
<b>EW</b>	Ancho de barrido extendido
<b>FAA</b>	Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés
<b>FCC</b>	Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés
<b>FCFS</b>	First Come First Served
<b>FMRE</b>	Federación Mexicana de Radio Experimentadores
<b>FSS</b>	Servicio fijo por satélite, por sus siglas en inglés
<b>Gb</b>	Gigabit
<b>GEO</b>	Órbita geoestacionaria
<b>GNC-A</b>	GEONETCast-Americas
<b>GNSS</b>	Sistemas de Navegación Global Satelital, por sus siglas en inglés
<b>GRD</b>	Rango de tierra detectado, por sus siglas en inglés
<b>GSaaS</b>	Ground Station as a Service
<b>GSD</b>	Distancia de muestra del suelo, por sus siglas en inglés (Resolución espacial)
<b>GSMA</b>	Asociación GSM
<b>GX</b>	Global Xpress
<b>HTS</b>	High Throughput Satellite. Satélites de alto rendimiento
<b>IaaS</b>	Infraestructura como servicio
<b>IARU</b>	Unión Internacional de Radio Amateur, por sus siglas en inglés
<b>ICSMD</b>	International Charter Space & Major Disasters

<b>IFT</b>	Instituto Federal de Telecomunicaciones
<b>IMT</b>	Telecomunicaciones Móviles Internacionales, por sus siglas en inglés
<b>IMTA</b>	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>IOAG</b>	Grupo Asesor de Operaciones Interagencias, por sus siglas en inglés
<b>IoT</b>	Internet de las cosas, por sus siglas en inglés
<b>IPN</b>	Instituto Politécnico Nacional
<b>ISRO</b>	Organización de Investigación Espacial India, por sus siglas en inglés
<b>ITAR</b>	Reglamento Internacional de Tráfico de Armas, por sus siglas en inglés
<b>IW</b>	Interferometric Wide Swath
<b>JAXA</b>	Agencia Japonesa de Exploración Espacial, por sus siglas en inglés
<b>LANOT</b>	Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra
<b>LEO</b>	Órbitas terrestres bajas, por sus siglas en inglés
<b>LHCP</b>	Polarización circular izquierda, por sus siglas en inglés
<b>LPWAN</b>	Red de área amplia de baja potencia, por sus siglas en inglés. (protocolo IoT)
<b>LTE</b>	Evolución a Largo Plazo, por sus siglas en inglés (redes móviles 4G)
<b>M2M</b>	Servicios máquina a máquina, por sus siglas en inglés
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>MEO</b>	Órbita terrestre media, por sus siglas en inglés
<b>MIFR</b>	Registro Maestro Internacional de Frecuencias, por sus siglas en inglés

<b>MS</b>	Multispectral band
<b>MSI</b>	Multispectral Instrument
<b>MSS</b>	Servicio móvil por satélite, por sus siglas en inglés
<b>mW</b>	Milliwatt
<b>NASA</b>	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, por sus siglas en inglés
<b>NGEO</b>	Órbitas satelitales no geoestacionarias
<b>NIR</b>	Infrarrojo cercano, por sus siglas en inglés
<b>NIIRS</b>	Escala Nacional de Clasificación de Interpretación de Imágenes, por sus siglas en inglés
<b>NOAA</b>	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, por sus siglas en inglés
<b>NSR</b>	Northern Sky Research
<b>OACI</b>	Organización de Aviación Civil Internacional
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
<b>OEA</b>	Organización de Estados Americanos
<b>OMI</b>	Organización Marítima Internacional
<b>PAN</b>	Pancromático
<b>PNAE</b>	Programa Nacional de Actividades Espaciales
<b>PND</b>	Plan Nacional de Desarrollo
<b>POG</b>	Posiciones orbitales geoestacionarias
<b>PSK</b>	Modulación por desplazamiento de fase
<b>RF</b>	Radiofrecuencia

<b>RGB</b>	Red Green Blue (rojo verde azul, haciendo referencia al espectro visible)
<b>RHCP</b>	Polarización circular derecha, por sus siglas en inglés
<b>RPC</b>	Registro público de concesiones
<b>RR</b>	Reglamento de Radiocomunicaciones
<b>RS</b>	Percepción remotas, por sus siglas en inglés
<b>S-GEO</b>	Small GEO
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
<b>SAR</b>	Radar de Apertura Sintética, por sus siglas en inglés
<b>SCT</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
<b>SEDENA</b>	Secretaría de la Defensa Nacional
<b>SEGOB</b>	Secretaría de Gobernación
<b>SEMAR</b>	Secretaría de Marina
<b>SENEAM</b>	Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano
<b>SHCP</b>	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
<b>SIAP</b>	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
<b>SIG</b>	Sistemas de información geográfica
<b>SLC</b>	Slant-Range Single-Look Complex
<b>SM</b>	Stripmap Mode
<b>SMN</b>	Servicio Meteorológico Nacional
<b>SNIEG</b>	Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica

<b>Spotbeam</b>	Haz puntual. Haz de antena de satélite dirigido a una célula en un sistema de satélites. Es el patrón de radiación de una antena diseñado para servir a un área geográfica relativamente pequeña o aislada, usualmente con alta ganancia. <sup>[41]</sup>
<b>SSO</b>	Órbita heliosíncrona, por sus siglas en inglés
<b>SWIR</b>	Infrarrojo de onda corta, por sus siglas en inglés
<b>Tb</b>	Terabit
<b>TCAC</b>	Tasa de crecimiento anual compuesto
<b>TDT</b>	Televisión digital terrestre
<b>Telecomm</b>	Telecomunicaciones de México
<b>TIR</b>	Infrarrojo térmico, por sus siglas en inglés
<b>TT&amp;C</b>	Rastreo, telemetría y comando, por sus siglas en inglés
<b>UABC</b>	Universidad Autónoma de Baja California
<b>UAEM</b>	Universidad Autónoma del Estado de México
<b>UASLP</b>	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>UHF</b>	Frecuencia ultra alta, por sus siglas en inglés
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>UL</b>	Uplink (enlace de subida)
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México
<b>UNOOSA</b>	Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior, por sus siglas en inglés
<b>USD</b>	Dólares estadounidenses por sus siglas en inglés

<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>UVIS</b>	Ultravioleta y visible
<b>VHF</b>	Frecuencia muy alta, por sus siglas en inglés
<b>VHR</b>	Muy alta resolución, por sus siglas en inglés
<b>VHTS</b>	Very High Throughput Satellite. Satélites de muy alto rendimiento
<b>VL</b>	Vehículo de lanzamiento
<b>VNF</b>	Funciones de red virtual, por sus siglas en inglés
<b>VNIR</b>	Visible e infrarrojo cercano, por sus siglas en inglés
<b>VSAT</b>	Terminales de apertura muy pequeña, por sus siglas en inglés
<b>WV</b>	Water Vapor (vapor de agua)





Este libro se terminó de imprimir  
en el mes de diciembre de 2023,  
en Ciudad de México, México.

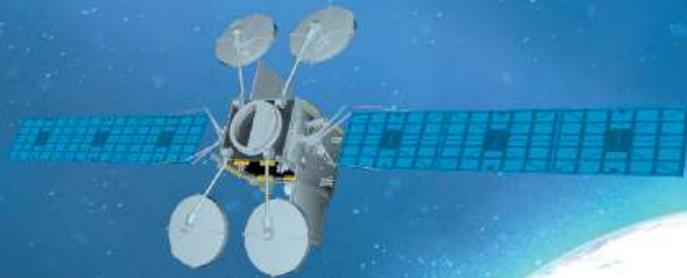
# ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LOS SATÉLITES MEXICANOS Y LAS CONSTELACIONES DE ÓRBITA BAJA

## Perspectivas de las posiciones orbitales mexicanas de la nueva generación de satélites incluyendo el espectro radioeléctrico

El presente documento busca guiar al lector en el entendimiento del estado actual de los satélites geoestacionarios y de las constelaciones de órbita baja desde el punto de vista de los antecedentes, proyección del uso en los próximos años con perspectiva de crecimiento del mercado y los posibles nichos de oportunidad para México en el sector de observación de la Tierra y su industria de comunicaciones satelitales.

# AEM

AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA



ISBN: 978-607-59988-0-0



DOI.ORG/10.52501/CC.169