



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DEL SECTOR SATELITAL EN MÉXICO COMO APOYO PARA LA TOMA DE  
DECISIONES EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS SATELITALES

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
MÓNICA APARICIO ESTRADA

TUTOR PRINCIPAL  
DR. EUGENIO MARIO LÓPEZ Y ORTEGA  
INSTITUTO DE INGENIERÍA

COTUTOR  
DR. CARLOS ROMO FUENTES  
UNIDAD DE ALTA TECNOLOGÍA, FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd. Mx., SEPTIEMBRE 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO**

PRESIDENTE: DRA. PATRICIA ESPERANZA BALDERAS CAÑAS  
SECRETARIO: DR. MANUEL DEL MORAL DÁVILA  
VOCAL: DR. EUGENIO MARIO LÓPEZ Y ORTEGA  
1<sup>ER</sup>. SUPLENTE: DR. CARLOS ROMO FUENTES  
2<sup>DO</sup>. SUPLENTE: DRA. LISETTE FARAH SIMÓN

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO.

### **TUTOR PRINCIPAL:**

DR. EUGENIO MARIO LÓPEZ Y ORTEGA

---

**FIRMA**

### **COTUTOR:**

DR. CARLOS ROMO FUENTES

---

**FIRMA**

*A la memoria de mi abuelo:  
Moisés Estrada Vélez,  
por su amor y enseñanzas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería.*

*A mi tutor principal, el Dr. Eugenio Mario López y Ortega, por aceptar dirigirme en este proyecto y ser mi guía en este camino, que en ciertos momentos se veía lejana la meta, pero con su apoyo, tiempo y consejos, pude concluir esta investigación.*

*Al Dr. Carlos Romo Fuentes, por darme la oportunidad de continuar siendo parte de la RedCyTE, por sus asesorías en el área satelital y su disposición cuando pedía su apoyo.*

*A la Dra. Patricia Esperanza Balderas Cañas, por su valioso apoyo en la revisión de mi tesis.*

*A la Dra. Lisette Farah Simón y el Dr. Manuel del Moral Dávila por aceptar ser mis sinodales y por sus consejos para este proyecto.*

*Al Mtro. Guillermo Carlos Martínez, líder del Proyecto ERMEX de SIAP-SAGARPA, al Dr. Javier Roch y al Dr. Francisco Romero de la Agencia Espacial Mexicana.*

*A mis profesores de la Maestría: Mtra. Francisca Irene Soler Anguiano, Ing. Francisco Jerónimo Nieto Colín, Mtro. Francisco José Álvarez y Caso.*

*A los Doctores: Saúl Santillán Gutiérrez, Gabriel Ascanio Gasca y Ligia Pérez Cruz, por creer en mí y permitirme desarrollar académica y profesionalmente.*

*A mi familia: Karen, mis padres, hermana, Ventus y Lucero, por estar siempre para mí.*

*A mis tías Rocío y Graciela, por sus valiosos consejos y apoyo.*

*A quienes ya no están físicamente, pero dejaron una gran huella en mí.*

*A todos, GRACIAS.*

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	1
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Justificación y Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Objetivo General .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Objetivos Específicos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Metodología Aplicada.....</b>	<b>6</b>
<b>2 DIAGNÓSTICO DE LA CADENA DE VALOR.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. La Importancia del Estudio de la Cadena de Valor .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. El ciclo de vida de una misión satelital y su relación con la cadena de valor satelital.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3. La cadena de valor del sector satelital internacional .....</b>	<b>16</b>
<b>3 CAPACIDADES NACIONALES EN EL SECTOR SATELITAL .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Análisis situacional FODA .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Análisis estratégico FODA-CAME.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3 Resumen preliminar, selección de estrategias y el impacto por COVID-19 al sector satelital.....</b>	<b>56</b>
<b>4 CASO DE ESTUDIO: PROPUESTA TÉCNICA .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Justificación de la propuesta .....</b>	<b>63</b>
<b>4.2 Generalidades de un satélite artificial.....</b>	<b>65</b>
<b>4.3 Características Técnicas de la Misión Propuesta .....</b>	<b>72</b>
<b>4.4 Propuesta técnica: su Ciclo de Vida y Cadena de Valor .....</b>	<b>81</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CATEGORÍAS DE DATOS BRUTOS EN EL ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA O SECTOR. FUENTE: ADAPTADO DE PORTER (2016A). .....	6
FIGURA 2. FUENTES DE DATOS DE CAMPO PARA EL ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA ESPACIAL. FUENTE: ADAPTADO DE PORTER (2016A). .....	7
FIGURA 3. METODOLOGÍA APLICADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	8
FIGURA 4. CADENA DE VALOR EN EL SECTOR SATELITAL. FUENTE: ADAPTADO DE EUROCONSULT-EC (2018). .....	10
FIGURA 5. EL DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA MISIÓN SATELITAL INCLUYE LA DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS, REQUERIMIENTOS, RESTRICCIONES Y COMPONENTES DEL SATÉLITE. FUENTE: ADAPTADO DE SMAD (2005). .....	12
FIGURA 6. EL CICLO DE VIDA DE UNA MISIÓN SATELITAL Y SU RELACIÓN CON LA CADENA DE VALOR SATELITAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	14
FIGURA 7. FASES DE DESARROLLO DE UNA MISIÓN ESPACIAL EN LA ESA (AGENCIA ESPACIAL EUROPEA), NASA (ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE LA AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO), Y DoD (DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE EEUU). FUENTE: ADAPTADO DE SMAD (2005). ....	15
FIGURA 8. DESCRIPCIÓN COMERCIAL DE LA CADENA DE VALOR SATELITAL. FUENTE: ADAPTADO DE EUROCONSULT-EC (2017, 2018). ....	16
FIGURA 9. COMPARATIVA 2016-2017 DE LA DESCRIPCIÓN COMERCIAL DE LA CADENA DE VALOR SATELITAL INTERNACIONAL. FUENTE: ADAPTADO DE EUROCONSULT-EC, (2017, 2018). ....	17
FIGURA 10. INGRESOS COMERCIALES A LO LARGO DE LA CADENA DE VALOR DE LA INDUSTRIA SATELITAL INTERNACIONAL DURANTE 2018. FUENTE: ADAPTADO DE EUROCONSULT (2019). ....	18
FIGURA 11. EVOLUCIÓN COMERCIAL DE LA CADENA DE VALOR SATELITAL INTERNACIONAL (2013-2028). FUENTE: ADAPTADO DE EUROCONSULT (2019). ....	18
FIGURA 12. MERCADO INTERNACIONAL DE SATÉLITES PEQUEÑOS (2010-2029). FUENTE: ADAPTADO DE EUROCONSULT – B (2020). ....	20
FIGURA 13. CADENA DE VALOR DEL SECTOR ESPACIAL MEXICANO. FUENTE: AEM (2014). ....	22
FIGURA 14. MERCADO DE SATÉLITES ASEGURADOS Y NO ASEGURADOS. FUENTE: MAPFRE-GLOBAL-RISKS (2020). ....	40
FIGURA 15. ESTADÍSTICAS A NIVEL MUNDIAL - PRIMA ANUAL VS. SINIESTROS. FUENTE: MAPFRE-GLOBAL-RISKS (2020). ....	42
FIGURA 16. PRESUPUESTOS DE ALGUNAS AGENCIAS ESPACIALES EN MILLONES DE DÓLARES (USD), 2012. FUENTE: AEM (2014). ....	50
FIGURA 17. ANÁLISIS ESTRATÉGICO CAME. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	53
FIGURA 18. ESTRATEGIAS DEL ANÁLISIS FODA-CAME. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	54
FIGURA 19. ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR SATELITAL NACIONAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, ADAPTADO DE LA TABLA 2. ....	58
FIGURA 20. PROYECCIÓN DE EXPORTACIONES EN LA INDUSTRIA AEROESPACIAL EN MÉXICO. FUENTE: MEXICO INDUSTRY (2020). ....	59
FIGURA 21. BALANZA COMERCIAL DE LA INDUSTRIA AEROESPACIAL EN MÉXICO. FUENTE: MEXICO INDUSTRY (2020). ....	60

FIGURA 22. DIMENSIONES Y DIFERENTES CONFIGURACIONES DE UN CUBESAT. FUENTE: ADAPTADO DE ALÉN SPACE (2020).....	66
FIGURA 23. DIAGRAMA EXPLOSIVO DE UN CUBESAT. FUENTE: ADAPTADO DE ALÉN SPACE (2020). ....	68
FIGURA 24. ELEMENTOS ORBITALES CLÁSICOS. FUENTE: ADAPTADO DE STK (2020A). ....	70
FIGURA 25. RELACIÓN ENTRE LAS COORDENADAS CLÁSICAS. FUENTE: ADAPTADO DE STK (2020A). ....	71
FIGURA 26. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE RECEPCIÓN PROPUESTAS. OBTENIDO DE STK (2020). ....	72
FIGURA 27. SIMULACIÓN DE LA CONSTELACIÓN CONUNAM CON UN PLANO ORBITAL. OBTENIDO DE STK (2020). ....	74
FIGURA 28. SIMULACIÓN DE LA CONSTELACIÓN CONUNAM CON DOS PLANOS ORBITALES. OBTENIDO DE STK (2020). ....	75
FIGURA 29. SIMULACIÓN DE LA CONSTELACIÓN CONUNAM CON TRES PLANOS ORBITALES. OBTENIDO DE STK (2020). ....	75
FIGURA 30. SIMULACIÓN DE LA CONSTELACIÓN CONUNAM CON SEIS PLANOS ORBITALES. OBTENIDO DE STK (2020). ....	75
FIGURA 31. ACCESOS SATELITALES A LAS ESTACIONES DE RECEPCIÓN (UN PLANO ORBITAL). FUENTE: OBTENIDO DE STK (2020).....	76
FIGURA 32. ACCESOS SATELITALES A LAS ESTACIONES DE RECEPCIÓN (DOS PLANOS ORBITALES). FUENTE: OBTENIDO DE STK (2020).....	76
FIGURA 33. ACCESOS SATELITALES A LAS ESTACIONES DE RECEPCIÓN (TRES PLANOS ORBITALES). FUENTE: OBTENIDO DE STK (2020). ....	77
FIGURA 34. ACCESOS SATELITALES A LAS ESTACIONES DE RECEPCIÓN (SEIS PLANOS ORBITALES). FUENTE: OBTENIDO DE STK (2020).....	77
FIGURA 35. ACTORES DE LA CADENA DE VALOR, DENTRO DEL CICLO DE VIDA DE LA MISIÓN SATELITAL PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ANÁLISIS FODA DEL SECTOR ESPACIAL MEXICANO. FUENTE: ADAPTADO DE PROMÉXICO-AEM (2017) Y FARAH (2017). .....	51
TABLA 2. ANÁLISIS ESTRATÉGICO FODA-CAME DEL SECTOR SATELITAL EN MÉXICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	54
TABLA 3. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	63
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE UN SATÉLITE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	65
TABLA 5. COSTO Y VIDA ÚTIL DE UN SATÉLITE DE ACUERDO CON SU MASA. FUENTE: ADAPTADO DE UAT-AEROSPAZIAL (2016) Y ALÉN SPACE (2020). ....	66
TABLA 6. ELEMENTOS ORBITALES QUE DEFINEN EL TAMAÑO Y FORMA DE LA ÓRBITA. FUENTE: STK (2020A). ....	69
TABLA 7. PARÁMETROS QUE DEFINEN LA ORIENTACIÓN ORBITAL. FUENTE: STK (2020A). ....	69
TABLA 8. PARÁMETROS QUE DEFINEN LA UBICACIÓN SATELITAL. FUENTE: STK (2020A). ....	70
TABLA 9. CONFIGURACIONES DE PLANOS ORBITALES PROPUESTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	74
TABLA 10. ACCESOS SATELITALES EN CADA ESTACIÓN DE RECEPCIÓN (UN PLANO ORBITAL). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	78
TABLA 11. ACCESOS SATELITALES EN CADA ESTACIÓN DE RECEPCIÓN (DOS PLANOS ORBITALES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	78
TABLA 12. ACCESOS SATELITALES EN CADA ESTACIÓN DE RECEPCIÓN (TRES PLANOS ORBITALES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	79
TABLA 13. ACCESOS SATELITALES EN CADA ESTACIÓN DE RECEPCIÓN (SEIS PLANOS ORBITALES). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	79

## **RESUMEN**

Se realiza el análisis de la cadena de valor satelital en México y el diagnóstico del sector satelital nacional e internacional; con el fin de identificar los actores de la cadena de valor, la infraestructura y capacidades en México; así como la influencia de las tendencias internacionales en nuestro país. También se incluye una propuesta técnica como una alternativa para el desarrollo de proyectos satelitales en México. Este análisis servirá de apoyo para la toma de decisiones de desarrolladores, proveedores de servicios satelitales, agencias espaciales e inversores en el desarrollo de misiones satelitales.

**PALABRAS CLAVE:** Cadena de valor satelital, Constelación de satélites, Satélites pequeños, Nanosatélites, CubeSat, Observación de la Tierra.

## **ABSTRACT**

The analysis of the satellite value chain in Mexico and the diagnosis of the national and international satellite sector are carried out; in order to identify the actors in value chain, infrastructure and capacities in Mexico; as well as the influence of international trends in our country. A technical proposal is also included as an alternative for the development of satellite projects in Mexico. This analysis will support the decision making of developers, satellite service providers, space agencies and investors in the development of satellite missions.

**KEYWORDS:** Satellite Value Chain, Satellite Constellation, Small Satellites, Nanosatellites, CubeSat, Earth Observation.

# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Justificación y Antecedentes

La ausencia de una industria con autonomía nacional; producto de la falta de desarrollo de ciencia y alta tecnología propias, así como de la aplicación de metodologías que permitan tomar las correctas decisiones para obtener resultados óptimos – y no sólo “económicos” y “rápidos” –, han sido algunos de los obstáculos para el impulso de las Ciencias y Tecnologías Espaciales (CTE) en México.

De acuerdo con Santillán et al. (2014) y Aparicio (2017); en los últimos 25 años han existido al menos dos momentos claves que pudieron ser grandes oportunidades para detonar e incursionar en el desarrollo de las Ciencias y Tecnologías Espaciales (CTE) en México:

- 1) La transferencia de tecnología a partir del sistema de satélites mexicanos “Solidaridad”.
- 2) El lanzamiento del satélite UNAMSAT B.

El primer momento, se dio con la puesta en órbita de los satélites Solidaridad I y Solidaridad II, en 1993 y 1994, respectivamente (Rebollar Trejo, 2017). Como parte del programa del Sistema “Solidaridad”, se buscó obtener una mayor preparación de científicos y técnicos mexicanos.

En los contratos con la empresa fabricante Hughes Aircraft (actualmente Boeing), y con Arianespace SA, la agencia lanzadora; se acordó la preparación académica y el trabajo de planta de un grupo de especialistas, así como de la transferencia de tecnología (Roch Soto, 2017). Dicha transferencia, permitiría el desarrollo y lanzamiento de un satélite experimental, que coordinaría el Instituto Mexicano de Comunicaciones, IMC; perteneciente a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. (Santillán et al, 2014; Roch Soto, 2017).

Sin embargo, la falta de experiencia en la gestión de proyectos espaciales, los cambios en la dirección del proyecto, el modelo de trabajo adoptado, y la

desaparición del IMC al término del sexenio, en 1994, impidieron que este proyecto se culminara exitosamente (Santillán et al, 2014; Aparicio, 2017).

El segundo momento se da en 1991, con el desarrollo del proyecto UNAMSAT, bajo coordinación del Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE) de la UNAM (*Ibíd*em).

Este proyecto, con fines de investigación, consistió en el desarrollo de un satélite para el estudio estadístico de las trayectorias de impacto de los meteoritos en la atmósfera terrestre (Rivera Valdez, 2019).

El lanzamiento del UNAMSAT se llevó a cabo en 1995, sin embargo, se presentó una falla en el cohete lanzador, que hizo perder la misión. Afortunadamente, existía un prototipo de ingeniería, que después de 6 meses, se logró enviar al espacio: el UNAMSAT B y cuya vida útil fue de 5 meses (*Ibíd*em).

A pesar de que el UNAMSAT B fue una misión exitosa, los medios informativos se encargaron de enfocarse solamente en el primer lanzamiento fallido, y este logro pasó desapercibido (Santillán et al, 2014; Aparicio, 2017).

A la fecha, es el único satélite desarrollado en el país, que ha culminado exitosamente una misión científica (*Ibíd*em).

Lamentablemente y de acuerdo con Santillán et al (2014), el PUIDE desapareció poco tiempo después, por varios motivos:

- La UNAM no pudo sostenerlo económicamente.
- No resistió la presión de las evaluaciones del sistema universitario ni del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT; cuyo enfoque se encontraba en la evaluación a través de publicaciones y no en la formación de recursos humanos.
- Falta de experiencia en la administración de proyectos espaciales.

Cabe destacar que países como Corea e Inglaterra implementaron al mismo tiempo, programas similares al PUIDE, y con apoyo de sus gobiernos y autoridades académicas; actualmente son sólidos programas de desarrollo espacial (Aparicio, 2017).

Lamentablemente a la fecha, no se han logrado tener al cien por ciento, una sinergia entre la academia, industria y gobierno, que permita una efectiva toma de decisiones y con ello, un desarrollo sólido en materia espacial, a nivel nación. Las malas decisiones han prevalecido y se han pagado altos precios por ello, como lo ocurrido con la Constelación Mexsat.

En 2010, el gobierno a través de la SCT adquirió con el fabricante Boeing Satellite Systems International, Inc; 3 satélites: Mexsat 1, 2 y 3, que luego fueron llamados: Centenario, Morelos III y Bicentenario, respectivamente (Santillán et al, 2014; Aparicio Estrada, 2017). Los dos primeros para ampliar los enlaces de comunicación satelital y cobertura social en México y el tercero para apoyar a la seguridad nacional (ProMéxico-AEM, 2017). Desafortunadamente, hubo una falla y el Centenario se desintegró horas después de su lanzamiento en mayo de 2015. El satélite Centenario tuvo un costo de entre 390 y 400 MDD y su vida útil era de 15 años (Aristegui, 2015).

Cabe destacar que los 3 satélites se adquirieron sin consultar a los académicos con experiencia en el área, y sin obtener ningún tipo de beneficio como transferencia de tecnología o capacitaciones; esto, a pesar del monto involucrado (2000 MDD, que únicamente incluía costos de seguros y lanzamientos).

Sin embargo y a pesar de las malas decisiones, aún se puede establecer un horizonte de planeación para subsanar aquellos errores cometidos e integrar a nuestro país en la comunidad internacional de las CTE (Santillán et al, 2014; Aparicio, 2017).

## **1.2 Planteamiento del Problema**

De acuerdo con ProMéxico-AEM (2017), el mercado global del sector espacial ha crecido 41 por ciento en los últimos cinco años, siendo las principales potencias espaciales Estados Unidos, Rusia y China. A nivel mundial, Estados Unidos representa el 65 por ciento del gasto gubernamental en programas espaciales con una inversión de 47,250 millones de dólares, encabezando la lista. A éste le siguen: Europa, Rusia, Japón, China, India, Francia, Canadá, Brasil, Argentina y otros.

En el caso de México, a pesar de que se tiene presencia en proyectos espaciales mundiales a través de la colaboración de instituciones de educación superior (ProMéxico-AEM, 2017), se observa la falta de inversión en el sector

espacial para el desarrollo de proyectos nacionales. Esto aunado a otro fenómeno que prevalece: la carencia de una cultura industrial en todo el país, que hace ver poco relevante el desarrollo de las CTE (Aparicio, 2017).

Es por ello, que el presente trabajo tiene la finalidad de dar a conocer la importancia del desarrollo del sector satelital, mismo que es vital para dar solución de las grandes necesidades de la sociedad: seguridad, atención a desastres naturales, acceso a la información, desarrollo agrícola y pesquero, agua, energía, sustentabilidad ambiental, educación, salud, transporte, entre otros (Mendieta Jiménez, 2015).

### **1.3 Objetivo General**

Realizar un análisis de las oportunidades y capacidades nacionales, a través de la Red de Ciencia y Tecnología del Espacio (RedCyTE) y otras fuentes de datos de campo, para elaborar una propuesta técnica, como apoyo para la toma de decisiones en el desarrollo de proyectos satelitales en México.

### **1.4 Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del sector satelital.
- Describir y analizar la cadena de valor satelital en México.
- Realizar un diagnóstico con base en los miembros de la Red de Ciencia y Tecnología del Espacio (RedCyTE), con el fin de conocer capacidades e infraestructura en México.
- Ayudar a las organizaciones a entender mejor el mercado satelital en México para tomar decisiones apropiadas al desarrollar e invertir en proyectos satelitales.
- Permitir una mejor visualización de la cadena de valor para identificar los nichos de oportunidad, evitando y corrigiendo errores dentro del sector satelital.
- Identificar, evaluar y seleccionar las alternativas tecnológicas que conlleven a satisfacer las necesidades y propicien el impulso del desarrollo de las Ciencias y Tecnologías Espaciales (CTE), así como la industrialización del sector satelital en México.
- Desarrollar una propuesta técnica satelital acorde al contexto nacional e internacional.

## 1.5 Metodología Aplicada

Para poder plantear la metodología aplicada en este trabajo, una de las preguntas que surgieron inicialmente fue: *¿Cómo realizar el análisis de una industria o sector?*

Michael Porter (2016a), señala que existen dos tipos básicos de información: los datos publicados y los obtenidos en entrevistas a participantes, y observadores de la industria (datos de campo). Lo importante resulta en identificar las fuentes más importantes de datos publicados y de campo, sus puntos fuertes y débiles, las estrategias para abordarlos de manera eficaz y en el orden correcto.

Asimismo, Porter (2016a) sugiere considerar una estrategia global para realizar el estudio de la industria, la cual consta de dos aspectos importantes: (1) determinar con exactitud lo que se busca, contando con un marco de referencia para recopilar información de datos brutos en forma sistemática (figura 1). (2) Una vez seleccionado esto, establecer un panorama general de la industria para después concentrarse en los detalles.

Categoría de datos	Recopilación
Tipos de productos	Por entidad / organización
Producción	Por fecha
Operación	Por área / función
Distribución / proveedores	
Usuarios/clientes	
Segmentación del mercado	
Competidores: estrategia, métodos, fortalezas y debilidades, suposiciones	
Ambiente: social, ecológico, político, legal y macroeconómico	

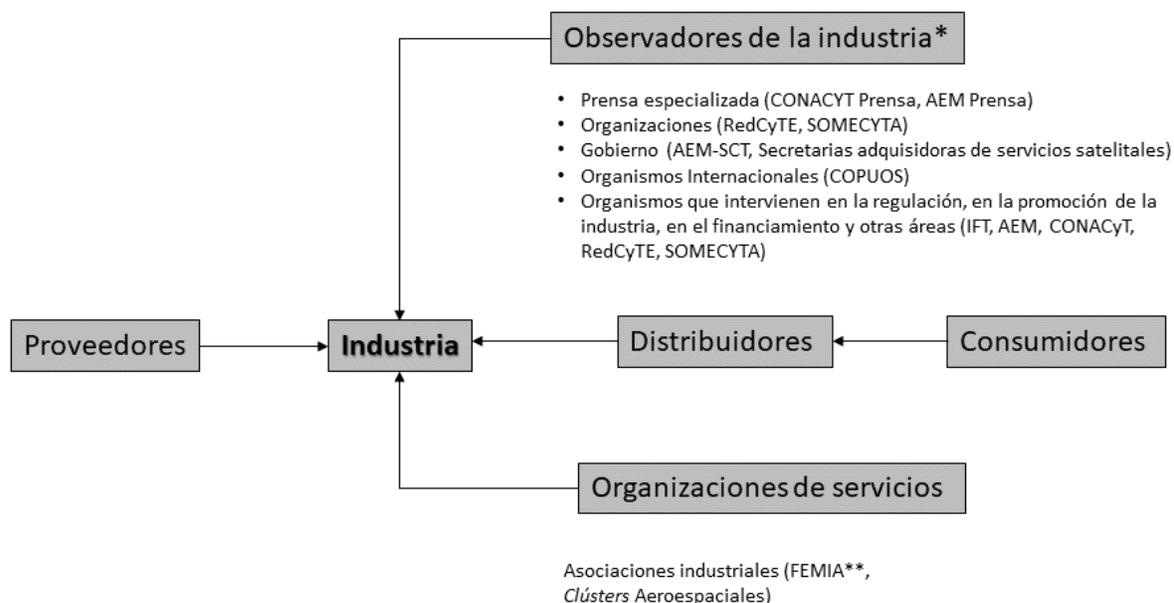
**Figura 1. Categorías de datos brutos en el análisis de la industria o sector.**

**Fuente: adaptado de Porter (2016a).**

Para lograr este panorama general conviene considerar: quién está en la industria (actores), los estudios (provenientes de asociaciones profesionales, revistas / prensa especializada, directorios y datos estadísticos de empresas, fuentes gubernamentales) o artículos relacionados con el tema y la disponibilidad de informes anuales del área (Porter, 2016a).

Cabe destacar que, para la obtención de datos para el análisis de la industria, Porter (2016a), propone un diagrama esquemático de las fuentes más importantes

de datos de campo, que son los participantes en la industria, compañías e individuos en negocios conexos de la industria (proveedores, distribuidores, clientes), organizaciones de servicios que tienen contacto con esta (por ejemplo, asociaciones profesionales) y observadores de la industria (entre ellos, los reguladores). Dicho diagrama se encuentra en la figura 2 y fue adaptado para el sector a analizar.



El significado de las entidades anteriores, es:

- \*CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- \*RedCyTE: Red de Ciencia y Tecnología del Espacio (Red Temática del CONACYT)
- \*AEM: Agencia Espacial Mexicana
- \*COPUOS: : Comisión del Espacio de las Naciones Unidas
- \*IFT: Instituto Federal de Telecomunicaciones
- \*SOMECYTA: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología del Espacio
- \*\*FEMIA: Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial, A.C

**Figura 2. Fuentes de datos de campo para el análisis de la industria espacial.**

**Fuente: adaptado de Porter (2016a).**

De esta manera, la metodología aplicada (figura 3), consiste en la obtención de datos e información del sector como primera etapa. La recopilación de datos se desarrolló mediante:

- Un **diseño de oportunidad**, dado que existían los resultados de la consulta a los miembros de la RedCyTE.
- Un **diseño intencional** sustentado en la realización de entrevistas directas a actores relevantes dentro del sector satelital: funcionarios de la SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) –

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), la AEM (Agencia Espacial Mexicana), entre otros.

- Además, una revisión documental sobre el sector satelital nacional e internacional, con el fin de establecer un panorama general, a través del estudio de la cadena de valor del sector.

Posteriormente, se propone realizar un análisis situacional, cuyos factores internos y externos son empatados con el Mapa de Ruta (Plan de Órbita 2.0). Con esta información se procede a realizar un análisis estratégico, cuyas acciones a llevar a cabo dentro del sector, dan lugar a una propuesta técnica.

Cabe destacar que, para realizar los análisis situacional y estratégico, se usan las herramientas FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) y CAME (Corregir, Afrontar, Mantener y Explotar), respectivamente. Finalmente, se utiliza el software STK (2019) como apoyo en la simulación de la mecánica orbital de los diferentes escenarios que se incluyen dentro de la propuesta técnica.

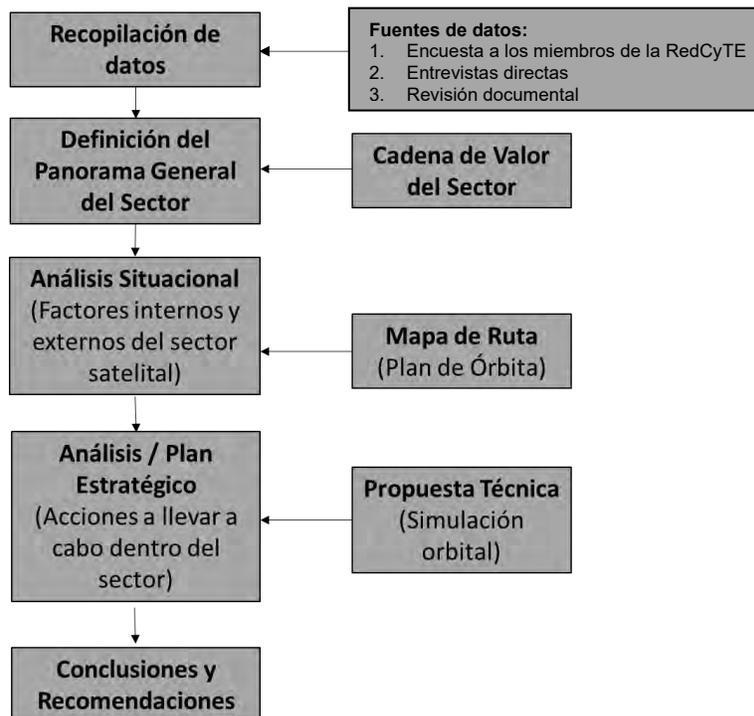


Figura 3. Metodología aplicada. Fuente: elaboración propia.

## **2 DIAGNÓSTICO DE LA CADENA DE VALOR**

---

### **2.1. La Importancia del Estudio de la Cadena de Valor**

De acuerdo con Porter, (2016b), la *cadena de valor* es una herramienta estratégica y sistemática que permite examinar todas las actividades que se realizan dentro de una compañía o sector, ayudando a comprender su manera de interactuar. De esta manera, el análisis de la cadena de valor ayuda a comprender el comportamiento de los costes y las fuentes existentes y potenciales de diferenciación (Eguren, M.L., 2015).

La *cadena de valor satelital* incluye la entrega de servicios espaciales que dependen de la tecnología satelital, así como una amplia diversidad de partes interesadas (Euroconsult-ec, 2018), agrupadas de la siguiente manera:

#### **2.1.1. Segmento *Upstream***

Actores que *diseñan y fabrican* tanto los sistemas espaciales como sus vehículos de lanzamiento (Euroconsult-ec, 2018).

Como se observa en la figura 4, los fabricantes de componentes o sistemas satelitales, así como de vehículos de lanzamiento; se pueden subdividir en OEM's (*Original Equipment Manufacturer*), que son los fabricantes de equipos originales; en Tier 1, que son los proveedores (de primer nivel) de partes originales a las ensambladoras; los Tier 2, proveedores (de segundo nivel) de partes con diseños suministrados por Tier 1; y los Tier 3, proveedores (de tercer nivel) de partes con diseños suministrados por Tier 2.

#### **2.1.2 Segmento *Downstream***

En este grupo se encuentran:

- Los **operadores de satélites** quienes poseen, operan y explotan el sistema satelital (segmento terrestre y los satélites) (SMAD, 2005;

Euroconsult-ec, 2018), generalmente son empresas de ingeniería aplicada (SMAD, 2005) que brindan sus capacidades a aquellos proveedores de servicios (*downstream*) quienes a su vez, ofrecen servicios de comunicaciones, navegación e información geográfica a usuarios finales; (Euroconsult-ec, 2018).

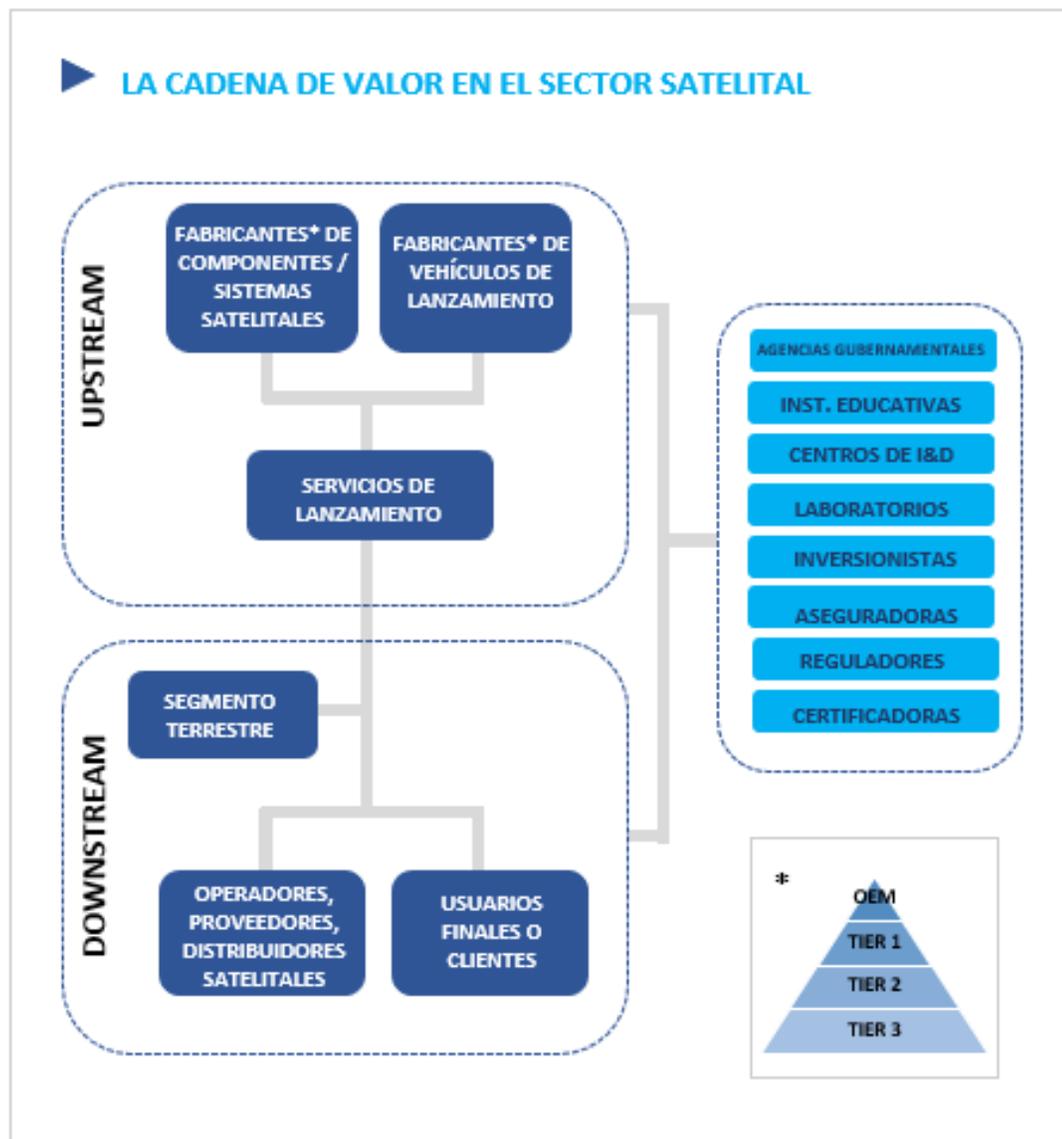


Figura 4. Cadena de valor en el sector satelital. Fuente: adaptado de Euroconsult-ec (2018).

- **Proveedores y distribuidores satelitales**, siendo los primeros los que diseñan y entregan una gran variedad de *software* y equipos tanto

para la gestión de la infraestructura satelital como para el acceso a los servicios por parte de los usuarios; y los segundos aquellos que entregan o distribuyen *software* y equipos (Euroconsult-ec, 2018).

- Los **usuarios finales o clientes**, los cuales solicitan soluciones a la medida de sus necesidades, ya sea para mejores comunicaciones, navegación o servicios de información geográfica (Euroconsult-ec, 2018); recibiendo y usando los servicios que otros pagan (usuarios finales), como los astrónomos, meteorólogos, geólogos, agrónomos; o pagando por un servicio (clientes) (SMAD, 2005).

### **2.1.3. Actores a lo largo de la cadena de valor**

Como las agencias espaciales, entidades gubernamentales, instituciones educativas, centros de I+D, laboratorios, inversionistas, aseguradoras, reguladores y certificadores.

## **2.2. El ciclo de vida de una misión satelital y su relación con la cadena de valor satelital**

De acuerdo con el SMAD (2005), las misiones satelitales grandes y complejas, generalmente requieren de 10 a 15 años para desarrollarse con una vida útil de 5 a 15 años, mientras que las misiones pequeñas y relativamente simples, requieren 1 a 1.5 años para desarrollarse y cuentan con una vida útil de 6 meses hasta 2 ó 3 años.

Debido a que las misiones espaciales varían ampliamente unas y otras; no hay un proceso único que pueda abarcar de manera completa a cualquier misión espacial, sin embargo, existe un método que resume un enfoque práctico y ha sido desarrollado desde el comienzo de la era espacial, en donde el principal factor es la optimización de recursos, en especial los económicos, pues en la mayoría de los casos, esto es una limitación para llevar a cabo una misión espacial (SMAD, 2005).

El modelo para el desarrollo de un producto o servicio satelital, aquí descrito, esquematiza el recorrido a transitar para definir, diseñar, producir y poner a la venta, un producto o servicio satelital. Esta metodología está determinada por diferentes fases que abarcan desde la definición estratégica hasta el fin de vida del producto, las cuales a continuación se describen:

## 1) Investigación

A partir de identificar necesidades o problemas dentro del sector, se genera el conocimiento y aquellas soluciones, a través del método científico.

## 2) Diseño y desarrollo

En donde intervienen las siguientes sub-fases:

- **Diseño conceptual**, fase de estudio que da como resultado una definición amplia de los objetivos, requerimientos y restricciones de la misión satelital y sus componentes (Fig. 5; SMAD, 2015). En esta etapa se sigue un proceso que cuantifique y garantice el cumplimiento de los objetivos, requerimientos y restricciones, considerando el menor costo posible, pues se debe tener presente que la misión a desarrollar debe ser rentable, para ello será necesario someterla previamente a una evaluación técnica y económica (*Ibídem*).

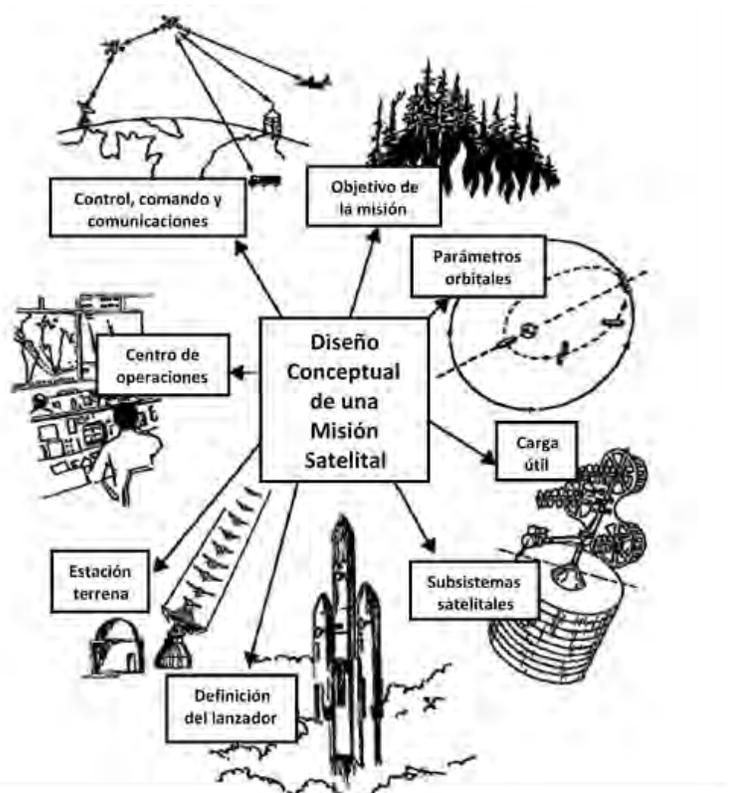


Figura 5. El diseño conceptual de una misión satelital incluye la definición de los objetivos, requerimientos, restricciones y componentes del satélite. Fuente: adaptado de SMAD (2005).

- **Diseño de detalle**, es la fase en donde se cuantifica qué tanto es posible alcanzar los objetivos planteados inicialmente, dado nuestro contexto y necesidades, la tecnología que aplicaremos y las limitaciones económicas. De acuerdo al SMAD (2005), un error importante es establecer requisitos en etapas tempranas, siendo que por ejemplo, se considera inicialmente una cámara y luego, se selecciona otra con una mejor resolución, esto podría agregar cientos o miles de millones de dólares al costo total del satélite, restando viabilidad al proyecto y con ello, se podría pensar en gastar el dinero en otro sistema que permita dar solución a las necesidades iniciales, como adquirir aviones y personal que sustituya a la misión espacial.

Es así que esta fase, proporciona datos cuantitativos necesarios para respaldar tales decisiones. Durante todo el diseño de detalle del producto se debe verificar que éste cumpla efectivamente con las características conceptuales del producto planteadas en la fase anterior. Además, del verificar entre otros aspectos, la seguridad, la calidad, confiabilidad y sustentabilidad de la misión. Se debe iterar las veces que sean necesarias para corroborar que estamos haciendo lo que nos propusimos hacer (*Ibidem*).

- **Desarrollo**, fase en donde se construye el *hardware* o *software* de prueba, considerando los parámetros orbitales en los que la misión se operará, controlará y comunicará, en la práctica, con el segmento terrestre.

### 3) Pruebas y validación

Fase en donde se asegura que el *software* y *hardware* que se desarrolló, funciona de acuerdo a las especificaciones establecidas y cumple las necesidades de la misión (*Ibidem*).

### 4) Producción y lanzamiento

Luego de comprobar que se cumple con las especificaciones establecidas, se produce el *hardware* y *software* tanto del segmento terrestre, como de vuelo y lanzamiento (*Ibidem*).

## 5) Operación y soporte

Fase donde se lleva a cabo la operación, explotación, mantenimiento y soporte de la misión satelital hasta el final de su vida.

## 6) Disposición final

De acuerdo con el Comité sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, COPUOS y el Comité Interinstitucional de Coordinación en Materia de Desechos Espaciales, IADC, por sus siglas en inglés respectivamente; al finalizar su vida útil y se convierta en “basura espacial”, se debe asegurar que el impacto ambiental sea mínimo (Farah, 2017), retirando los objetos espaciales, una opción de ello es desintegrándolos en la atmósfera.

El ciclo de vida de una misión satelital está estrechamente relacionado con la cadena de valor. Esta relación se muestra en la figura 6.



**Figura 6. El ciclo de vida de una misión satelital y su relación con la cadena de valor satelital. Fuente: elaboración propia.**

Cabe destacar que las fases del ciclo de vida se pueden dividir o inclusive, llamar de manera diferente, dependiendo de la entidad que desarrollará la misión (ver figura 7), la cual puede ser, por ejemplo, una agencia espacial, una empresa comercial, o un departamento de defensa nacional. De igual manera, las políticas y

procedimientos de desarrollo y de operación, así como la vida útil de satélite, variarán y dependerán de esta entidad.

A pesar de que su participación sea directa o indirecta, los únicos que no cambiarán, serán los **actores dentro de la cadena de valor**.

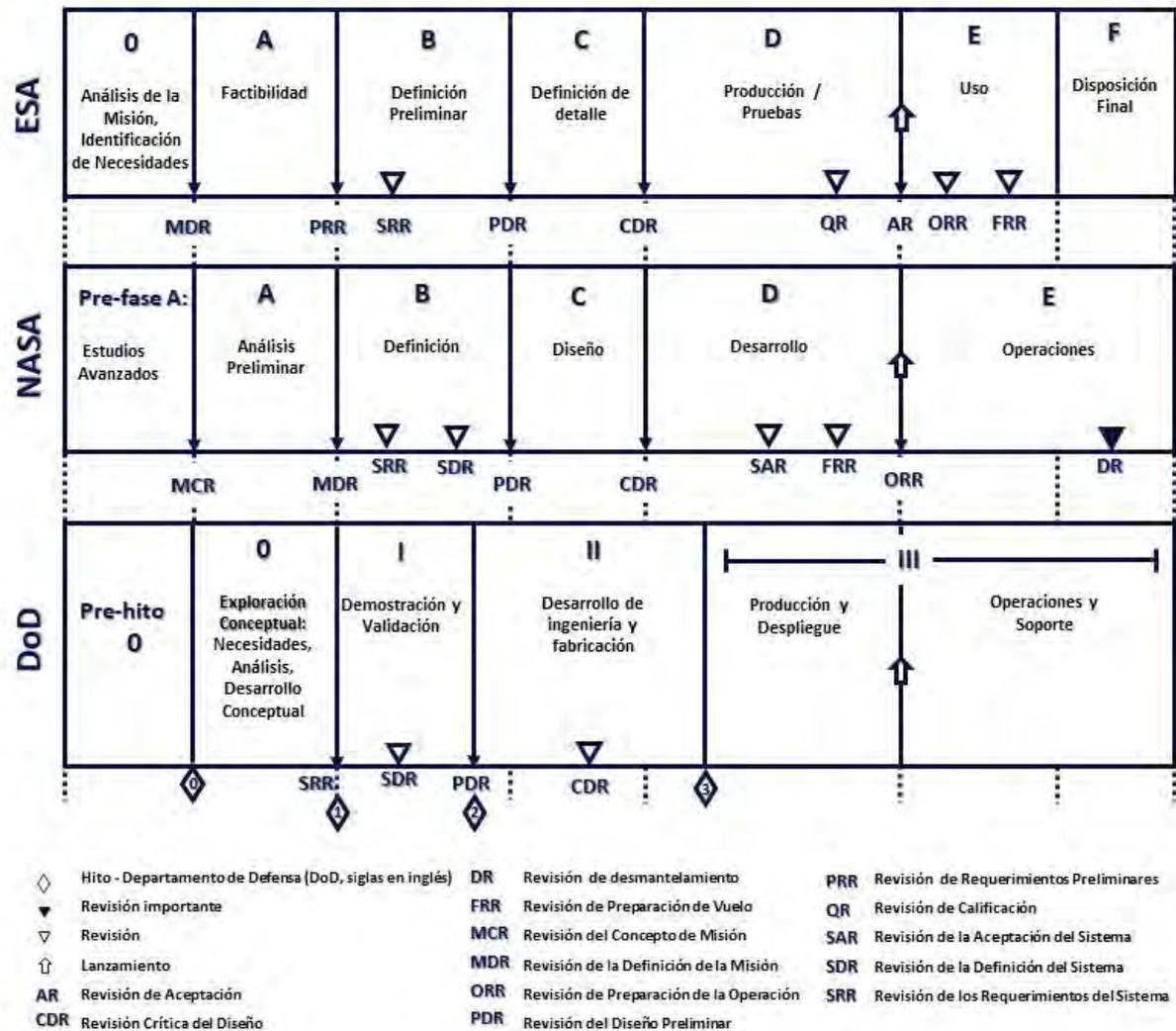


Figura 7. Fases de desarrollo de una misión espacial en la ESA (Agencia Espacial Europea), NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio), y DoD (Departamento de Defensa de EEUU). Fuente: adaptado de SMAD (2005).

### 2.3. La cadena de valor del sector satelital internacional

De acuerdo con el Reporte Ejecutivo de Euroconsult-ec, 2017- 2018, dentro del segmento **upstream**, se encuentran 30 empresas fabricantes de sistemas satelitales y 10 empresas fabricantes de vehículos de lanzamiento. Cabe destacar que, en 2016, las empresas fabricantes de sistemas satelitales, acumularon en ventas 4.9 billones de dólares, sin embargo, en 2017 este número descendió a 3.9 billones de dólares. Respecto a las empresas fabricantes de vehículos de lanzamiento, en 2016 acumularon 2.5 billones de dólares, mientras que en 2017 esa cifra descendió a 1.6 billones de dólares.

Por otro lado, dentro del segmento **downstream**, alrededor de 50 compañías son operadores satelitales y alrededor de 5000 compañías son proveedores de servicios satelitales. En el caso de las compañías que son operadores satelitales, en 2016 acumularon en ventas 14 billones de dólares, mientras que en 2017, acumularon 13.78 billones de dólares. Por su parte, hubo un notorio incremento en ventas dentro de las empresas de servicios satelitales, pues de 228 billones de dólares en 2016, pasó a 251.7 billones de dólares en 2017. La figura 8 resume lo anterior:



IMPORTANTE: Las cifras incluyen compañías comercialmente activas con al menos 1 satélite en operación o en construcción; satélites iguales o superiores a 50kg.

Figura 8. Descripción comercial de la cadena de valor satelital. Fuente: adaptado de Euroconsult-ec (2017, 2018).

Como comparativa, también se observan ambos segmentos (*upstream y downstream*) en la Figura 9, los cuales acumularon 250 billones de dólares en 2016, mientras que, en 2017, esa cifra ascendió a 271 billones de dólares. De igual manera se observa que, respecto a los ingresos comerciales a nivel internacional, el primer lugar lo ocupan los satélites de comunicación, el segundo lugar lo ocupan los satélites de navegación y, por último, el tercer lugar lo ocupan los satélites de “Observación de la Tierra”.

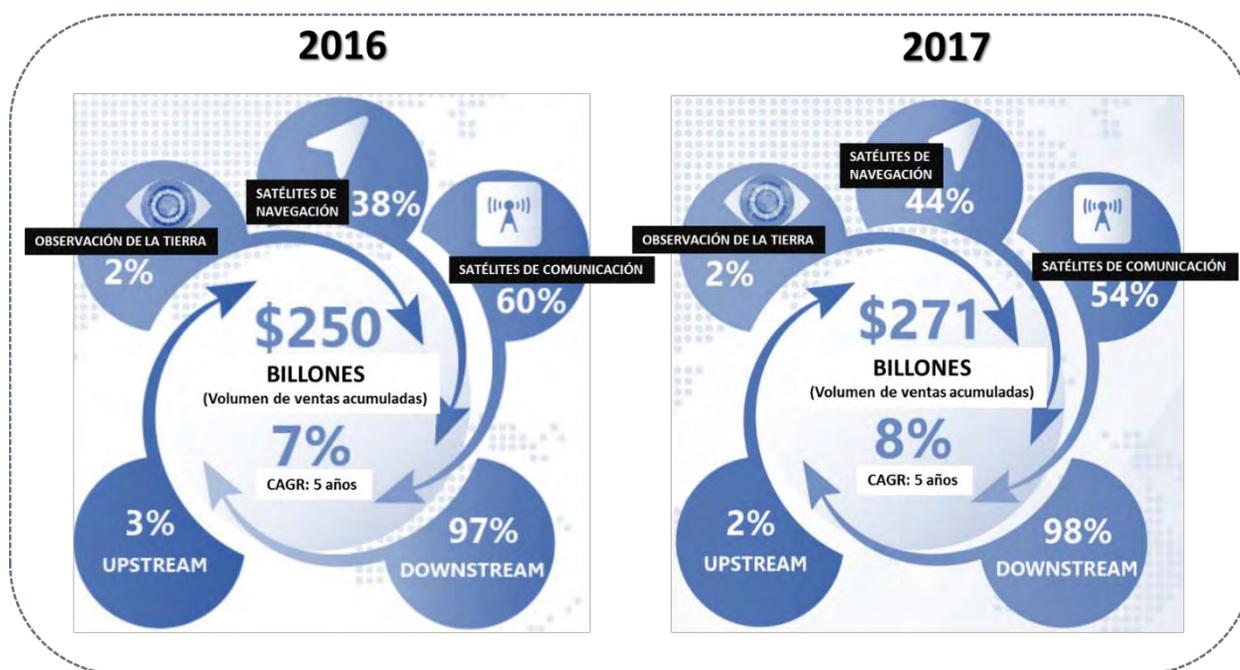


Figura 9. Comparativa 2016-2017 de la descripción comercial de la cadena de valor satelital internacional. Fuente: adaptado de Euroconsult-ec, (2017, 2018).

De acuerdo con el Reporte de Economía Espacial<sup>1</sup> publicado en diciembre de 2019; durante 2018 los ingresos dentro el sector satelital internacional fueron de 298 billones de dólares, incrementándose casi en un 10% con respecto al año anterior; correspondiendo 8 billones de dólares al segmento *upstream* (2.7%), y 290 billones de dólares al segmento *downstream* (97.3%). (Euroconsult, 2019). La figura 10 describe estos ingresos a lo largo de la cadena de valor. Se destaca que, 2018 fue el primer año en que los ingresos comerciales por parte de los satélites de navegación superaron los ingresos por parte de los satélites de comunicación.

<sup>1</sup> Previamente llamado por Euroconsult: “*Satellite Value Chain*”.



Figura 10. Ingresos comerciales a lo largo de la Cadena de Valor de la Industria Satelital Internacional durante 2018. Fuente: adaptado de Euroconsult (2019).



Figura 11. Evolución comercial de la Cadena de Valor Satelital Internacional (2013-2028). Fuente: adaptado de Euroconsult (2019).

Por otro lado, la figura 11 describe la evolución comercial en la Cadena de Valor Satelital Internacional de 2013 a 2028, en donde Euroconsult (2019) proyecta para 2028 un crecimiento constante en los ingresos comerciales de cada uno de los actores de la Cadena de Valor, en donde se prevé alcanzar en conjunto un total de 485 billones de dólares. En el caso del segmento **upstream**, se espera que, de los 8 billones de dólares registrados en 2018, se alcancen los 11 billones de dólares en 2028, teniendo una tasa de crecimiento anual del 4%. Respecto al segmento **downstream**, se espera que, de 290 billones de dólares registrados en 2018, se alcancen 474 billones de dólares para 2028, con una tasa de crecimiento anual del 5%. Finalmente, se espera que los ingresos comerciales sean en primer lugar por parte de los satélites de navegación; en segundo, por parte de los satélites de comunicación y, en tercero, por parte de los satélites de “Observación de la Tierra”.

A pesar de aún no estar publicado el Reporte de la Economía del Espacio 2020 (antes Cadena de Valor satelital), el cual contiene los resultados de los ingresos comerciales del sector durante 2019, que incluye satélites pequeños, medianos y grandes; Euroconsult ha publicado en su sitio *web* las tendencias para 2020, en donde prevé un auge del mercado de pequeños satélites.

### **2.3.1. Mercado de satélites pequeños**

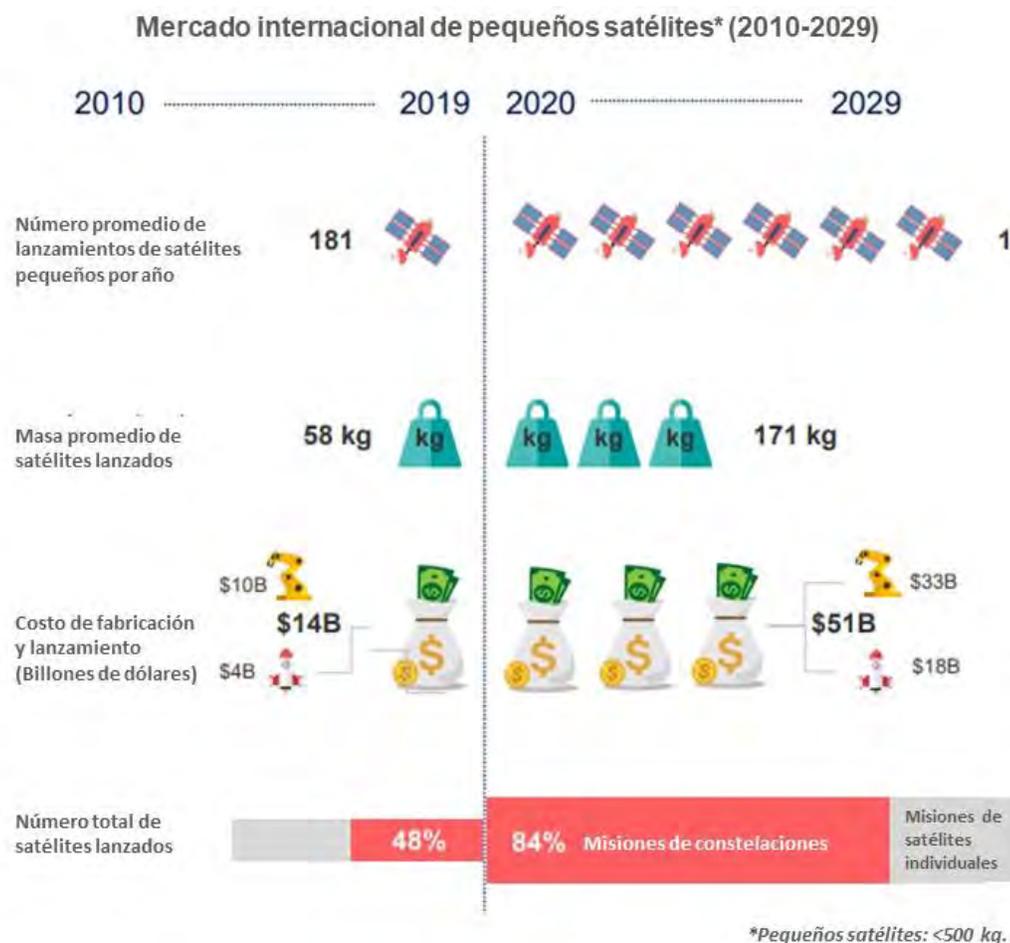
Como se mencionó anteriormente, Euroconsult – b (2020) publicó las tendencias para 2020; pero además, recientemente emitió un Reporte de Prospectivas para el Mercado de Satélites Pequeños, en donde basa sus proyecciones de la siguiente década (2020 a 2029) en tres fuentes:

- Una base de datos de todos los satélites cuya masa es de 50 kg a 500 kg y que fueron lanzados entre 2010 y 2019. Además, la base de datos incluye aquellos satélites que están en desarrollo y se prevé su lanzamiento en los próximos años, así como un pronóstico de los que se lanzarán en 2029.
- Investigaciones sobre la oferta (industrias que fabrican y lanzan satélites), y demanda (usuarios y operadores satelitales) en este mercado.
- Intercambio de información y comentarios por parte de los actores que conforman la cadena de valor satelital a nivel internacional, abarcando seis regiones en el mundo: América del Norte, América del Sur, Europa, Asia, Rusia y la Comunidad de Estados Independientes (CIS, por sus siglas en inglés); y Medio Oriente / África.

De esta manera, Euroconsult – b (2020) prevé el lanzamiento de 10,100 satélites de menos de 500 kg en los próximos 9 años.

Otro dato importante que se indica en este Reporte, es que muchas de las empresas que desarrollarán proyectos satelitales (menores a 500 kg) en los próximos 9 años, lo harán a través de **constelaciones de satélites**. Esto tiene su razón de ser, pues con ellas pueden ofrecer mejores servicios y llegar a nuevos usuarios.

La figura 12 muestra la proyección del mercado de pequeños satélites para el año 2029. En ella se indica la evolución de este sector desde 2010. Se observa que, en los próximos 9 años se prevé que el desarrollo de proyectos a través de constelaciones satelitales, sea del 84% y el resto (16%) sean satélites individuales.



**Figura 12. Mercado internacional de satélites pequeños (2010-2029).**  
Fuente: adaptado de Euroconsult – b (2020).

Alén Space (2020) señala que: “según la Oficina de la ONU para Asuntos Espaciales (UNOOSA), ha habido más de 8.000 objetos lanzados al espacio exterior, aunque no todos son satélites, ya que se incluyen sondas, cohetes y otros dispositivos (...) la nueva ola de colonización está siendo llevada a cabo por sistemas pequeños, baratos y rápidos; con metodologías de desarrollo ágiles, que favorecen el ingreso de aquellas empresas que necesitan el espacio para alcanzar sus objetivos y ampliar sus servicios.

Dentro del mercado internacional de pequeños satélites, Alén Space (2020) apuesta al desarrollo de **nanosatélites**<sup>2</sup> e indica que “durante el año 2017, más de 300 nanosatélites fueron enviados al espacio, lo que representa un aumento del 205% con respecto al año anterior.”

De esta manera, Alén Space apoya el desarrollo de constelaciones de nanosatélites, pues “tienen como fin ofrecer un servicio global y accesible las 24 horas del día. Además, por sus características, una pérdida de un nanosatélite no sería catastrófica, ya que el servicio seguiría estando activo gracias al resto de la constelación. Gracias a los bajos tiempos de desarrollo, la reposición estaría garantizada en menos de un año.”

Finalmente, Alén Space asegura que los actores a lo largo de la Cadena de Valor Satelital se están beneficiando del ahorro que presumen las nuevas constelaciones de nanosatélites pues: “los operadores emergentes, los nuevos actores de financiación y las nuevas aplicaciones a disposición de empresas y usuarios son los causantes de una tendencia que se mantendrá durante los próximos años (...) Mientras que entre 2013 y 2017 casi la mitad de los nanosatélites lanzados cumplía misiones militares y civiles, y la otra mitad tenía funciones comerciales, el pronóstico para los próximos años es muy diferente. Se espera que para 2022 hasta el 75% de las operaciones de nanosatélites en órbita tengan un objetivo de ‘*space business*’, en donde muchas ideas de negocio se materialicen.”

#### **2.4. La cadena de valor del sector satelital en México**

De acuerdo con el Plan de Órbita 2.0 (ProMéxico-AEM, 2017), el sector espacial mexicano está integrado por actores provenientes de la triple hélice:

---

<sup>2</sup> Satélites con una masa de 1 kg a 10 kg.

industria, academia y gobierno; en donde se indica que la academia ha sido un pilar clave para el desarrollo del sector. Asimismo, se señala que, a partir de la creación de la Agencia Espacial Mexicana en el año 2010, la influencia gubernamental ha ido creciendo. Con respecto a la industria, se dice que el ecosistema de empresas dedicadas a temas específicos del espacio es incipiente, sin embargo, se menciona que existen capacidades importantes desarrolladas por compañías que se encuentran en industrias relacionadas y que pueden generar sinergias en el desarrollo de proyectos espaciales en México (*Ibidem*).

Al ser un actor clave dentro de la cadena de valor, la Agencia Espacial Mexicana, AEM, en su presentación del Programa Nacional de Actividades Espaciales, PNAE 2013-2018 (AEM, 2014); propone y describe a la cadena de valor del sector espacial nacional como se muestra en la figura 13.



**Figura 13. Cadena de valor del sector espacial mexicano. Fuente: AEM (2014).**

En ella se puede observar la intervención de actores relacionados directa e indirectamente con el espacio. De igual manera, se observan las actividades que integran a la cadena y de forma genérica, se cuantifican a los actores e infraestructura que participan en cada actividad, en el caso de la “investigación y formación de recursos humanos”, intervienen 75 actores, en el caso de “fabricantes de equipo y partes”: 119; de “operadores”: 154 y de “distribuidores”: 82.

Debido a que los datos anteriores, son de por lo menos hace 5 años y no existe una base de datos con los mismos; para fines de esta investigación, se realizó una recopilación de datos actuales, de aquellos actores -que, aunque algunos son extranjeros-, intervienen directa e indirectamente en la cadena de valor satelital en México.

Cabe destacar que estos datos fueron obtenidos del Reporte Técnico de la Red de Ciencia y Tecnología del Espacio, RedCyTE (2018), en complemento de información de ProMéxico-AEM (2017) y los *Clústers* Aeroespaciales en México: Aeroclúster-Querétaro (2019); Chihuahua's-Aerospace-Cluster (2019); Clúster-Aeroespacial-BC (2019) y Monterrey-Aerocluster (2019).

#### **2.4.1. Segmento *Upstream***

- **Fabricantes de componentes / sistemas satelitales**

De acuerdo con el Aeroclúster Querétaro (2019), estos son los principales fabricantes de componentes / sistemas satelitales. Aunque la mayor parte son empresas extranjeras, son parte de la Cadena de Valor del sector satelital nacional, ya que se encuentran ubicados en nuestro país:

- ***Add Engineering S. A. de C. V.***; especializada en el diseño y fabricación de componentes aeroespaciales (*Ibidem*).
- ***Aernnova Aerospace Mexico S. A. de C. V.***; Tier 1 especializada en el diseño y la fabricación de estructuras y componentes metálicos para el sector aeroespacial, con certificaciones AS9100<sup>3</sup>, y NADCAP<sup>4</sup>; algunos de sus clientes son Bombardier, Beechcraft, Bell Helicopter and Sikorsky. (*Ibidem*).
- ***Aeroprocess TTT S. A. de C. V.***; empresa del Grupo TTT, especialista en procesos de tratamiento térmico: temple, revenido, endurecimiento por precipitación, alivio del estrés, recocido, soldadura fuerte; para la industria aeroespacial, con certificaciones AS9100, NADCAP, ISO9001<sup>5</sup>; sus clientes son Airbus, Aernnova, ITP Aero, Safran. (*Ibidem*).

---

<sup>3</sup> AS9100. Norma para empresas que diseñan, desarrollan y proporcionan productos y servicios a la industria de la aviación, espacio y defensa, incluyendo piezas, componentes y montajes.

<sup>4</sup>NADCAP, National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program. Programa global de acreditación cooperativa para ingeniería aeroespacial, defensa e industrias relacionadas.

<sup>5</sup> ISO9001. Norma sobre la gestión de la calidad y mejora continua.

- **Axon Interconex S. A. de C. V.**; especializada en el diseño, fabricación y montaje de arneses eléctricos y conectores para sectores como el aeronáutico y espacial; con certificaciones AS9100, TS16949<sup>6</sup>, ISO14000<sup>7</sup>, ISO9001. (*Ibidem*).
- **Bombardier Aerospace Mexico S. A. de C. V.**; Fabricante de arneses eléctricos, componentes estructurales, componentes compuestos en la industria aeroespacial, con certificaciones AS9100, ISO14000; y clientes como Bombardier y Airbus. (*Ibidem*).
- **Curtiss-Wright Controls de Mexico S.A de C.V.**; empresa dedicada al diseño y fabricación de sensores integrados y subsistemas electrónicos y mecánicos para los mercados aeroespacial y de defensa, cuenta con certificaciones AS9100, ISO14000 y su principal cliente es Boeing. (*Ibidem*).
- **Dishon Mexico S. A. de C. V.**; fabricante de componentes de alta precisión, certificados por AS9100 para la industria aeroespacial. Sus principales clientes son: UTC Aerospace Systems –Collins Aerospace, Eaton, Mecair, Heroux, Devtek. (*Ibidem*).
- **Helmut Fischer S. de R. L. de C. V.**; fabricante de instrumentos de medición y análisis de FISCHER. Ofrece alta fiabilidad en equipos de análisis precisos para determinar el contenido de plomo en conexiones soldadas, garantizando la ausencia de filamentos que pueden provocar cortocircuitos. (*Ibidem*).
- **Hyrza Aerospace Maquinados CNC de Precisión S. de R. L. de C. V.**; fabricante de productos de metal mecanizados y construcción para imprimir repuestos para las industrias de alimentos y bebidas, automotriz y aeroespacial. Con certificación AS9100 y cuyos principales clientes son: ITP Group, Safran, Senior Space. (*Ibidem*).
- **PCM Innovation S.A. de C.V.**; fabricante de piezas metálicas-mecanizadas para clientes que desarrollan satélites y antenas satelitales, con las siguientes certificaciones: AS-9100 e ISO-9001. Sus principales clientes son Airbus, Boeing, Bombardier Aerospace, Dedienne Aerospace, GE aviation, Siemens. (*Ibidem*).
- **Tridi Servicios y Tecnología 3D S. de R.L. de C.V.**; empresa dedicada al diseño e ingeniería, su principal aporte al sector es la impresión 3D con más de 45 materiales disponibles, para fabricar proyectos a la medida dentro del sector aeroespacial. Sus principales clientes son Safran e ITP Aereo. (*Ibidem*).

En el Plan de Órbita 2.0, ProMéxico-AEM (2017), se incluyen a los siguientes fabricantes de componentes / sistemas satelitales:

---

<sup>6</sup> TS16949. Especificación técnica cuyo propósito es el desarrollo de un sistema de gestión de calidad basado en la prevención de errores y la reducción de desechos en la fase de producción.

<sup>7</sup> ISO14000. Conjunto de normas enfocadas en el ambiente, productos y organizaciones.

- **PEXCO Aerospace**; fabricante de materiales y resinas para el sector aeroespacial. Certificado en ISO 9001:2008 y AS9100. (*Ibidem*).
- **Skyworks Solutions de México**; especializado en el diseño y fabricación de dispositivos de posicionamiento global y radios móviles terrestres. (*Ibidem*).
- **AI Systems**; empresa de base tecnológica dedicada al diseño y desarrollo de componentes y constelaciones satelitales. (*Ibidem*).
- **Edison Effect - Aerospace Division (Datiotec Aeroespacial)**; Distribuidores exclusivos para México de la marca GomSpace, líder mundial en el sector. Los componentes son de alta calidad y de usa espacial, incluyendo:
  - Computadoras de vuelo
  - Sistemas de potencia
  - Sistemas de apuntamiento
  - Sistemas de telecomunicación
  - Plataformas nanosatelitales basadas en el estándar CubeSat (*Ibidem*).
- **Honeywell Aerospace**; especialista en el desarrollo de actuadores con tecnologías electromecánicas, sistemas de cabinas y pantallas para vehículos espaciales, desde los controles de vuelo hasta la gestión del mismo. Servicios de comunicación satelital: comunicaciones de voz, fax y datos de alta velocidad. (*Ibidem*).
- **MxSpace**; iniciativa espacial privada que busca establecer una industria nativa en México para el desarrollo tecnológico y científico del sector espacial a nivel mundial, a través de proyectos de alto valor agregado que facilitan soluciones a los sectores gubernamentales y privados (MXSPACE, 2020). La iniciativa también funge como puente entre ideas innovadoras y talento mexicano brindando apoyo para el desarrollo y estructura de nuevas tecnologías y proyectos que sirvan para generar cambios significativos en la industria espacial. Esta iniciativa se crea en estrecha colaboración con la Agencia Espacial Mexicana (AEM) y las siguientes empresas asociadas: AI Systems, Simple Complexity, Ketertech, Latitud 19:36, ThumbSat, Composite Solutions, Datiotec Aeroespacial, Clusmex: Mission Builder, YESOD Technologies, Advanced Material Solutions, Intelliscience y Extrematest (*Ibidem*).
- **Ketertech**; empresa dedicada a mantener, garantizar e impulsar el desarrollo sustentable de estructuras espaciales integrada por personal altamente calificada para apoyar los proyectos de clientes potenciales (*Ibidem*). Su misión es desarrollar estructuras para vehículos de lanzamiento con el objetivo de la colocación en órbita de pequeños satélites a un bajo costo; dar apoyo a empresas e instituciones para llevar a la práctica sus innovaciones y dar seguimiento a los proyectos de empresas o

instituciones a fin de que cumplan con todos los requerimientos previstos en tiempo y forma (*Ibidem*).

- **Simple Complexity**; es una de las primeras empresas espaciales del país y enfoca sus capacidades en la conformación de tecnología satelital dentro de la gran cadena de suministro de esta industria (*Ibidem*). Su misión es diseñar y construir satélites que contengan tecnología innovadora y confiable buscando siempre un desempeño óptimo para contribuir con el crecimiento de la industria espacial en México (*Ibidem*).
- **Thales Alenia Space**; empresa con 40 años de experiencia en diseñar y desarrollar soluciones de alta tecnología para telecomunicaciones, navegación, observación de la Tierra, gestión ambiental, exploración, ciencia e infraestructuras orbitales (Thales Alenia Space, 2020).
- **Thumbsat**; empresa que desarrolla femto-satélites de bajo costo, de acuerdo con las especificaciones y recursos seleccionados por sus clientes (MXSPACE, 2020).
- **UTC Aerospace Systems-Colins Aerospace**; empresa que diseña y fabrica sistemas aeroespaciales; específicamente, en el área espacial, se destaca por diseñar y fabricar trajes espaciales para los astronautas (ProMéxico-AEM, 2017).

De acuerdo al Clúster Aeroespacial de Chihuahua (Chihuahua's-Aerospace-Cluster, 2019); estos son los principales fabricantes de componentes / sistemas satelitales:

- **Lisi Aerospace**; empresa que diseña y fabrica sistemas y componentes estructurales, de acuerdo con los más altos estándares y requisitos de calidad que la industria aeroespacial demanda (Lisi Aerospace, 2020).
- **KAT Aerospace**; empresa que ofrece tratamientos superficiales con calidad aeroespacial. Entre los productos/ servicios que ofrecen están: pruebas no destructivas (NDT, Non –Destructive Testing), procesos químicos anticorrosión, anti oxidación y mejor adhesión a la pintura, entre otros. Cuenta con las siguientes certificaciones: Nadcap AC 7004 AQS<sup>8</sup>, Nadcap AC 7108 Chemical Process General<sup>9</sup> y Nadcap AC7114 NDT<sup>10</sup> (Chihuahua's-Aerospace-Cluster, 2019).

Otros fabricantes de componentes / sistemas satelitales que han incursionado en proyectos nacionales, son:

---

<sup>8</sup> Certificación del Sistema de Gestión de Calidad.

<sup>9</sup> Certificación de procesos químicos.

<sup>10</sup> Certificación de pruebas no destructivas.

- **GomSpace**; empresa dedicada a diseñar, integrar y fabricar nanosatélites y tecnología de radio miniaturizada para el sector académico, gubernamental y comercial (MxSpace, 2020).
- **AAA Clyde Space**; empresa dedicada a diseñar, integrar y fabricar satélites pequeños (1 U – 12 U), así como los componentes de cada subsistema del satélite (*Ibidem*).
- **TCS Space and Component Technology**; fabricante de componentes electrónicos para naves espaciales. Con más de 35 años, TCS aporta experiencia en el suministro de estos componentes (*Ibidem*).

- **Fabricantes de componentes / sistemas para vehículos de lanzamiento**

De acuerdo con el Aeroclúster Querétaro (2019) y al Chihuahua's-Aerospace-Cluster (2019), esta empresa es el principal fabricante en México:

- **Safran Aerospace Composites México (Albany)**; empresa dedicada al diseño y fabricación de sistemas de propulsión química de cohetes y componentes ópticos de muy alta precisión (*Ibidem*).

- **Servicios de lanzamiento**

En el país no existen empresas que se dediquen al servicio de lanzamiento de satélites. Para el lanzamiento de los satélites que México ha adquirido, se han contratado a las siguientes empresas / agencias (*Ibidem*):

- Morelos I; transbordador espacial Discovery, NASA<sup>11</sup>
- Morelos II; transbordador espacial Atlantis, NASA
- Solidaridad I; cohete Ariane-44LP H10+, ESA<sup>12</sup>
- Solidaridad II; Ariane-44L H10+, ESA
- Satmex 5 (ahora EUTELSAT 115 West A); Ariane-42L H10-3; ESA
- Satmex 6 (ahora EUTELSAT 113 West); Ariane-5ECA; ESA
- Satmex 8 (ahora EUTELSAT 117 West A); Proton Breeze-M; International Launch Services
- UNAMSAT-B; cohete Cosmos, lanzador ruso Polyot
- QuetzSat 1; cohete Proton-M Briz-M, International Launch Services
- MexSat 1 (Centenario); cohete Protón M, International Launch Services

---

<sup>11</sup> National Aeronautics and Space Administration.

<sup>12</sup> European Space Agency.

- MexSat 2 (Morelos III); cohete Atlas-V 421, Lockheed Martin Commercial Launch Services
- MexSat 3 (Bicentenario); Ariane 5; ESA
- AzTechSat-1, lanzado en una misión comercial de servicios de reabastecimiento de SpaceX para la NASA (NASA, 2020).

## 2.4.2. Segmento *Downstream*

- **Segmento Terrestre**

Estaciones terrenas y centros de control de misión:

- **Estación terrena de la Unidad de Alta Tecnología** de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, sus características permiten:
  - Recepción de Imágenes de satélites de baja resolución en VHF<sup>13</sup> y UHF<sup>14</sup>, S y X, en órbitas LEO (~ 900 km);
  - Telemetría científica y de servicio;
  - Control para maniobras en órbita;
  - Capacitación en la operación vía RF de satélites (UAT-Aeroespacial, 2016).
- La **Estación de Recepción de México, ERMEX**, es una estación terrestre de recepción de imágenes satelitales administrada por la SAGARPA<sup>15</sup>, a través del SIAP<sup>16</sup>, la cual permite observar desde el espacio el territorio nacional (SAGARPA-SIAP, 2017). Por medio de la antena ERMEX, se recopilan imágenes captadas por los satélites de la constelación SPOT<sup>17</sup>. Éstas se encuentran a disposición de dependencias gubernamentales, universidades y centros de investigación públicos (SAGARPA-SIAP, 2017).
- La **Estación para la Recepción de Información Satelital, ERIS**, inició sus trabajos formalmente en junio de 2007, al tiempo que se estableció el Consorcio Interinstitucional, integrado por el CONACYT<sup>18</sup>, ECOSUR<sup>19</sup>, el INEGI<sup>20</sup> y CONABIO<sup>21</sup>; para administrar y garantizar la operación continua de la estación, así como la

---

<sup>13</sup> **Very High Frequency**: banda del espectro electromagnético con un rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz

<sup>14</sup> **Ultra High Frequency**: banda del espectro electromagnético con un rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.

<sup>15</sup> Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

<sup>16</sup> Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

<sup>17</sup> Satélites Para la Observación de la Tierra

<sup>18</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

<sup>19</sup> Colegio de la Frontera Sur

<sup>20</sup> Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática

<sup>21</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

facilitación del uso de datos (CONACYT, 2020). El desarrollo de las instalaciones y la operación de esta estación se realizó gracias a la firma de un memorándum de entendimiento entre el CONACYT y la Agencia Aeroespacial Alemana (DLR, por sus siglas en alemán). La antena se encuentra en Chetumal, Quintana Roo y es un sistema transportable de movimiento completo a alta velocidad, el diámetro del reflector principal es de ocho metros y contiene un sistema de adquisición multisatelital que trabaja en las bandas L, S y X. Este sistema recibe y procesa datos de satélites orbitales polares como los ERS-2 SPOT, LandSat5, JERS-1, IRS, ENVISAT, Radarsat y otros de percepción remota (CONACYT, 2020). Por la categoría y la capacidad técnica de la antena, sólo se procesa una parte de las señales recibidas, principalmente de los satélites de acceso público como Landsat y Modis. Sin embargo, ese instrumento ha recibido señales de satélites alemanes como Terra SARX/TanDEM X (CONACYT, 2020).

- **La Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución (EVISMAR)**, fue creada a través del esfuerzo conjunto de la SEMAR<sup>22</sup> y el INEGI. Es una estación terrena ubicada dentro de las instalaciones de la SEMAR, en la Ciudad de México; y tiene como objetivo recibir imágenes satelitales obtenidas por el satélite GeoEye-1, para procesarlas y ser utilizadas en apoyo al cumplimiento de las funciones de la SEMAR y del INEGI (SEMAR, 2020).

La EVISMAR se encuentra en operación desde el 21 de julio de 2011 y cuenta con una antena virtual y una infraestructura informática de gran capacidad para la recepción, el almacenamiento, el procesamiento y la distribución de imágenes del satélite GeoEye-1. La SEMAR y el INEGI administran y operan la EVISMAR con personal especializado en Ciencias de la Tierra e Ingeniería en Sistemas, entrenado y certificado en E.E.U.U. para la operación de la Estación (*Ibidem*).

- Telepuertos<sup>23</sup> de Telecomm<sup>24</sup> en Iztapalapa, Ciudad de México; Tulancingo, Hidalgo; y Hermosillo, Sonora (Telecomm, 2020).

- **Operadores, proveedores, distribuidores satelitales**

- **EUTELSAT** (antes SATMEX<sup>25</sup>); su misión es interconectar al mundo a través del uso de soluciones satelitales innovadoras para (EUTELSAT, 2020):

---

<sup>22</sup> Secretaría de Marina

<sup>23</sup> Estación terrestre de telecomunicaciones que permite la retransmisión de distintos servicios de televisión, voz y datos vía satélite

<sup>24</sup> Telecomunicaciones de México

<sup>25</sup> Satélites Mexicanos S.A. de C.V.

**Video:** transmisión de vídeo de alta calidad para las principales televisoras, programadores, distribuidores de contenido y algunas de las universidades más reconocidas en Latinoamérica. Las principales aplicaciones de video (EUTELSAT, 2020):

- Distribución de contenido de televisión y radio a cabeceras de cable en Latinoamérica
- Transmisión de señales de contribución
- Transmisiones DTH<sup>26</sup>
- Aplicaciones para educación a distancia
- Servicios ocasionales (transmisiones de noticias, espectáculos, eventos deportivos y culturales con la mejor cobertura regional, nacional y continental).

Sus satélites permiten la transmisión de señales en definición estándar (SD) y alta (HD), desde el estándar MPEG-2 y DVB-S hasta MPEG-4 y DVB-S2 (EUTELSAT, 2020).

**Datos:** los satélites de Eutelsat Américas son utilizados por los principales proveedores de servicios de telefonía fija y móvil con presencia en todo el Continente Americano como complemento a sus redes terrestres (EUTELSAT, 2020). Sus conexiones satelitales garantizan una solución de alta flexibilidad para incorporar nuevos sitios a la red; además de ser importantes para enlazar redes amplias o dispersas a lo largo de territorios en los que no existe la comunicación terrestre (EUTELSAT, 2020). Las Principales aplicaciones de datos (de alta velocidad):

- Enlaces de telefonía celular
- Redes corporativas
- Plataformas VSAT
- Plataformas y embarcaciones petroleras
- Redes marítimas (EUTELSAT, 2020)

**Gobierno:** soluciones en comunicación de voz, servicios de datos, banda ancha y conectividad de video, con una amplia cobertura satelital en todo el mundo y acceso de alta velocidad (EUTELSAT, 2020). Las aplicaciones para los gobiernos incluyen:

- Telefonía rural
- Reducción de la brecha digital
- Educación a distancia
- Telemedicina

---

<sup>26</sup> Direct To Home (Directo al Hogar)

- Recuperación de las comunicaciones en zonas de crisis
- Militar
- Conectividad global
- Energía (EUTELSAT, 2020)

Eutelsat cuenta con dos Centros de Control, ubicados en Hermosillo, Sonora y en la Ciudad de México (Ibídem).

- **GlobalStar**, proveedor de servicios satelitales: rastreo y monitoreo, telefonía satelital y telemetría. Cuenta con diversos distribuidores en todo el territorio mexicano (ProMéxico-AEM, 2017).
- **Hughes Network Systems LLC**; Proveedor de sistemas y servicios satelitales de ancho de banda para América Central y América Latina. Hughes ofrece soluciones en redes satelitales (Ibídem):
  - Sistemas satelitales de banda ancha
  - Sistemas satelitales móviles y terminales
  - Acceso inalámbrico de banda ancha
  - Estándar DVB-S2 / IPoS
  - Banda C, banda Ku, banda Ka y banda X (ProMéxico-AEM, 2017).

- **Usuarios**

Los usuarios se dan en los 3 diferentes sectores:

- **Sector privado** (ProMéxico-AEM, 2017):
  - Globalstar de México, S. de R.L. de C.V.
  - Telesistema Mexicano, S.A. de C.V.
  - Astrum Comunicaciones, S.A. de C.V.
  - Mite Global Communications Systems, S.A. de C.V.
  - Landsat, S.A. de C.V.
  - Tecnologías de Control del Norte, S.A. de C.V.
  - Iridium Comunicaciones de México, S.A.P.I. de C.V.
  - Grupo de Telecomunicaciones Mexicanas, S.A. de C.V.
  - Controladora Satelital de México, S. de R.L. de C.V.
  - Sistemas Satelitales de México, S. de R.L. de C.V.
  - Hispasat México, S.A. de C.V.
  - Global S Telecomunicaciones, S.A. de C.V.
  - Corporación de Radio y Televisión del Norte de México, S. de R.L. de C.V.

- Entre otros
- **Sector académico:**
  - Universidades
  - Centros de Investigación
  - Laboratorios
- **Sector gobierno (ProMéxico-AEM, 2017; UAT-Aeroespacial, 2016):**
  - SAGARPA
    - SIAP
  - INEGI
  - SEGOB<sup>27</sup>
  - SEMAR
  - SEMARNAT<sup>28</sup>
  - CENAPRED<sup>29</sup>
  - CONABIO
  - SCT<sup>30</sup>
  - SEDENA<sup>31</sup>
  - SADER<sup>32</sup>
  - SALUD<sup>33</sup>
  - SEDATU<sup>34</sup>
  - INE<sup>35</sup>
  - SCHP<sup>36</sup>
  - PEMEX<sup>37</sup>
  - CONAFOR<sup>38</sup>

### 2.4.3. Actores a lo largo de la cadena de valor:

- **Entidades gubernamentales**

---

<sup>27</sup> Secretaría de Gobernación

<sup>28</sup> Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

<sup>29</sup> Centro Nacional de Prevención de Desastres

<sup>30</sup> Secretaría de Comunicaciones y Transportes

<sup>31</sup> Secretaría de Defensa Nacional

<sup>32</sup> Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

<sup>33</sup> Secretaría de Salud

<sup>34</sup> Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

<sup>35</sup> Instituto Nacional Electoral

<sup>36</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público

<sup>37</sup> Petróleos Mexicanos

<sup>38</sup> Comisión Nacional Forestal

- **Agencia Espacial Mexicana, AEM;** es un organismo público descentralizado del Gobierno Federal y sectorizada en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (AEM, 2019). Su misión es, 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 (AEM, 2019). En la AEM, existen cinco Coordinaciones Generales que forman su estructura:
  - Formación de Capital Humano en el Campo Espacial
  - Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico Espacial
  - Desarrollo Industrial, Comercial y Competitividad en el Sector Espacial
  - Asuntos Internacionales, Normatividad y Seguridad en la Materia Espacial
  - Financiamiento y Gestión de la Información en Materia Espacial (AEM, 2019; Aparicio, 2017)
  
- **Fondo Sectorial de Investigación en Actividades Espaciales, FIDAE;** instrumento de política científica para apoyar los requerimientos del sector espacial en materia de investigación científica, tecnológica y de innovación mediante el apoyo a proyectos con recursos del fideicomiso conformado con las aportaciones del CONACYT y la AEM (AEM-CONACYT, 2020). El objeto del Fondo es promover la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación, mediante la canalización de recursos a proyectos de investigación, que puedan generar conocimiento, desarrollos tecnológicos o innovaciones para el sector espacial. De esta manera el Fondo contribuye al fortalecimiento de las capacidades en ciencia, tecnología e innovación en materia espacial (AEM-CONACYT, 2020).
  
- **Red de Ciencia y Tecnología del Espacio, RedCyTE;** tiene el objetivo de proporcionar fondos semilla para proyectos, talleres y seminarios que apoyen el:
  - Desarrollo de colaboración internacional para misiones espaciales que resuelvan problemas sociales,
  - Fomenten el desarrollo tecnológico industrial,
  - El conocimiento científico y nos permitan participar en proyectos de importancia internacional.

La RedCyTE está conformada por un grupo de investigadores y empresarios interesados en la ciencia y tecnología espacial en México, centrándose en las siguientes líneas de investigación y desarrollo (RedCyTE, 2018).:

- Aplicaciones de percepción remota,
- Sistemas de monitoreo y de comunicaciones,
- Instalaciones para integración, pruebas y certificación,

- Instrumentación para aplicaciones espaciales,
- Diseño y construcción de plataformas espaciales,
- Ciencias del espacio,
- Impulso al desarrollo de la industria espacial en México,
- Aplicación de la tecnología espacial para el bienestar social,
- Materiales para aplicaciones espaciales,
- Educación, difusión y programas de atracción para jóvenes hacia las tecnologías espaciales (*Ibídem*).

La RedCyTE cuenta con un grupo de investigadores y empresarios interesados en la ciencia y tecnología espacial en México, cuya suma es de 280 miembros. Asimismo, se tiene el registro de 17 proyectos y de 86 dependencias adscritas, clasificadas de esta manera: 56 Instituciones Nacionales, 9 Centros de Investigación, 10 Empresas, 6 Instituciones Extranjeras, 4 Laboratorios Nacionales y 1 Independiente (*Ibídem*).

Cabe destacar que la RedCyTE mantiene estrecha colaboración con la Agencia Espacial Mexicana (AEM), en el desarrollo de proyectos de acuerdo al plan nacional de desarrollo espacial, como ejemplo se encuentran el Plan de Órbita con SE y ProMéxico (RedCyTE, 2016).

- **Instituciones educativas**

De acuerdo con la RedCyTE (2018), entre las instituciones educativas involucradas en el área espacial, se encuentran:

**Nacionales:**

- Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM;
  - Unidad de Alta Tecnología (UAT) de la Facultad de Ingeniería (FI);
  - Coordinación de la Investigación Científica, CIC;
  - Instituto de Geofísica
  - Instituto de Geografía
  - Instituto de Ingeniería
  - Instiuto de Astronomía
  - Instituto de Ciencias Nucleares
  - Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología , ICAT;
  - Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, CFATA;
  - Centro de Geociencias, CGEO;
  - Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería;
  - Posgrado de Ingeniería de Sistemas;
  - Escuela Nacional de Estudios Superiores, ENES –Morelia
  - División de Ingeniería Eléctrica, DIE;

- División de Ingeniería Mecánica e Industrial, DIMEI;
- Facultad de Ingeniería, FI;
- Facultad de Contaduría y Administración, FCA;
- Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, FCPyS;
- Facultad de Estudios Superiores, FES-Aragón
- Facultad de Ciencias

Cabe destacar que, en julio de 2017, la UNAM creó el **Programa Espacial Universitario, PEU**; el cual tiene como objetivos la actualización del catálogo de proyectos realizado por la Red Universitaria del Espacio (creada en 2010 por la UNAM); el propiciar la participación de equipos multidisciplinarios e interinstitucionales para generar y difundir el conocimiento, el desarrollo de capacidades y la ejecución de proyectos innovadores. Asimismo, busca promover el desarrollo de infraestructura en la UNAM para el progreso de la tecnología espacial y sus aplicaciones (Gaceta-UNAM, 2017; Aparicio, 2017).

- Instituto Politécnico Nacional, IPN;
  - Centro de Desarrollo Aeroespacial, CDA;
  - ESIME Zacatenco
  - ESIME Ticomán
  - ESIME Culhuacán
- Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL;
  - Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica (CIIIA) de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME);
- Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ;
- Universidad Aeronáutica en Querétaro, UNAQ;
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP;
- Universidad de Guadalajara, UDG;
- Universidad Autónoma de Baja California, UABC;
- Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, ITESI;
- Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, UNICACH;
- Universidad Autónoma de Sinaloa, UAS;
- Universidad Politécnica de San Luis Potosí, UPSLP;
- Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, UPAEP;
- Universidad Estatal de Sonora, UES;
- Universidad Autónoma de Chihuahua, UACH;
- Universidad Autónoma Metropolitana, UAM;
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM –GDL;
- Universidad de Guanajuato, UG;
- Instituto Tecnológico de Saltillo; ITS;

- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH;
- Universidad Autónoma de la Ciudad de México, UACM;
- Universidad Tecnológica de la Selva, UT-Selva
- Centro de Enseñanza Técnica y Superior en Baja California, CETYS

Un tema importante, es la formación de recursos humanos a nivel nacional. En México, existen las siguientes carreras relacionadas con el sector espacial:

- UNAM
  - Licenciatura en Ingeniería Aeroespacial, de reciente creación e impartida en la Facultad de Ingeniería
  - Licenciatura en Ciencias de la Tierra con orientación en Ciencias Espaciales
- UABC
  - Licenciatura en Ingeniería Aeroespacial
- UACH
  - Licenciatura en Ingeniería Aeroespacial

De acuerdo con Aparicio (2017), en Posgrado hay 3 instituciones que imparten estudios en Ciencia y Tecnología Espacial:

- CETYS, Baja California
- UNAM
- UANL

#### **Instituciones Educativas Internacionales, con incursión en proyectos Nacionales:**

- Massachusetts Institute of Technology, MIT;
- Cardiff University;
- Kyushu Institute of Technology;
- University of California, San Diego;
- Universidad Politécnica de Madrid.

- **Centros de Investigación y Desarrollo**

- **Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV;** Centro de Investigación donde se realizan pruebas mecánicas y de metalografía, difracción de rayos X, análisis térmico, propiedades ópticas ICP-EOS, análisis químicos de microscopía electrónica, XPS Profometría FTIR, Medición de reflectancia con sistema UV-VIS-NIR 300 nm a 2500 nm con esfera integrada; con certificación ISO9001 Aeroclúster Querétaro, 2019)

- **Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, CIDESI**; Centro de investigación que pertenece al CONACYT. Se realizan proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico, innovación y servicios especializados para fabricación avanzada, mecatrónica, automatización, electrónica aplicada, tecnología de materiales, materiales compuestos y metrología. Mantiene vinculación con OEMs y Tiers de motores, estructuras, trenes de aterrizaje, materiales compuestos e interiores. Está certificado en AS9100 y ISO9001 (Aeroclúster Querétaro, 2019).
- Otros Centros de Investigación que también han incursionado en proyectos espaciales, dentro de la RedCyTE son: INAOE<sup>39</sup>, CICESE<sup>40</sup>, CIMAV<sup>41</sup>-CHIHUAHUA, CIMAV – MONTERREY y CITEDI<sup>42</sup>.

De acuerdo con el Aeroclúster Querétaro (2019), además de los mencionados anteriormente, también se encuentran:

- **Centro de Ingeniería Avanzada en Turbomáquinas S. de R. L. de C. V. de General Electric IQ**; empresa que brinda servicios de diseño, análisis e ingeniería para motores de propulsión y sistemas de generación de energía. Dentro del sector aeroespacial, desarrollan materiales que soportan altas temperaturas, motores de detonación rotativos (RDE) innovando los sistemas de propulsión existentes. (*Ibidem*).
- **Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. A., CIDETEQ**; Centro de Investigación que pertenece al CONACYT<sup>43</sup>. Se especializa en procesos electroquímicos (metalizado, tratamientos y recubrimientos de superficies, celdas de combustible), materiales (tratamientos químicos, electrodepositos y electroformación). Mantiene vinculación con ITP Aero, Safran y Bombardier. (*Ibidem*).
- **Centro de Tecnología Avanzada A. C., CIATEQ**; Centro de Investigación, el cual mejora la competitividad de la industria manufacturera con tecnologías que permiten una mayor velocidad y precisión en el proceso, nuevos métodos para procesar materiales, técnicas que reducen los tiempos de desarrollo del producto y la automatización de los procesos de producción. Certificado en ISO14000 e ISO9001. (*Ibidem*).

---

<sup>39</sup> Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

<sup>40</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

<sup>41</sup> Centro de Investigación en Materiales Avanzados.

<sup>42</sup> Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital.

<sup>43</sup> CONACYT. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

- **Centro Nacional de Metrología, CENAM;** brinda servicios de metrología de alta precisión, tales como: Consultoría, Capacitación, Desarrollo y validación de sistemas y procesos de metrología, servicios de calibración, evaluación metrológica de productos y prototipos, etc. El CENAM tiene estándares primarios en los siguientes campos: temperatura, longitud, tiempo y frecuencia, electricidad, cantidad de sustancia, fuerza, torque, presión, etc. Mantiene vinculación con OEM<sup>44</sup> y niveles de motores, estructuras, trenes de aterrizaje, materiales compuestos e interiores. (*Ibidem*).

- **Laboratorios**

- **Laboratorio Nacional de Ingeniería Espacial y Automotriz, LNIEA;** el cual se consolidó en 2015, con el apoyo del CONACYT y la RedCyTE; a cargo de la UNAM y su Facultad de Ingeniería. Este laboratorio está ubicado en las instalaciones de la Unidad de Alta Tecnología (UAT), en la UNAM Campus Juriquilla. El LNIEA cuenta con los siguientes laboratorios (LNIEA, 2017; Aparicio, 2017):

- Laboratorio de Mecatrónica
- Laboratorio de Dinámica Vehicular
- Laboratorio de Plásticos
- Laboratorio de Sistemas Automotrices
- Laboratorio de HIL<sup>45</sup> & SIL<sup>46</sup>
- Laboratorio de Vibraciones
- Estación de Control Satelital
- Laboratorio de Termo-vacío
- Laboratorio de Compatibilidad Electromagnética
- Laboratorio CAD<sup>47</sup>/CAM<sup>48</sup>/CAE<sup>49</sup>
- Laboratorio de Sistemas Embebidos
- Laboratorio de Sistemas Espaciales

- **Laboratorio Nacional de Nanotecnología, Nanotech;** fue creado en 2006, como resultado de una convocatoria de CONACYT para la creación de Laboratorios Nacionales de Infraestructura Científica o Desarrollo Tecnológico. A cargo del CIMAV, su misión es propiciar la formación de recursos humanos, la investigación científica y el desarrollo de aplicaciones específicas en actividades de síntesis,

---

<sup>44</sup> OEM. Original Equipment Manufacturer.

<sup>45</sup> HIL: Hardware In the Loop.

<sup>46</sup> SIL: Software In the Loop.

<sup>47</sup> CAD: Diseño Asistido por Computadora, por sus siglas en inglés.

<sup>48</sup> CAM: Manufactura Asistida por Computadora, por sus siglas en inglés.

<sup>49</sup> CAE: Ingeniería Asistida por Computadora.

caracterización y aplicaciones de sistemas nanotecnológicos, brindando un espacio de colaboración y apoyo a las instituciones y empresas nacionales e internacionales (NANOTECH, 2020).

- **Laboratorio de Ciencias GeoEspaciales, LACIGE**; creado en 2015 en el Campus Morelia de la UNAM. Su infraestructura, equipo de cómputo, software e instrumentos de observación, provienen de fondos directos de la UNAM otorgados a la ENES<sup>50</sup> Unidad Morelia y del CONACYT. se desarrollan proyectos de investigación básica en el campo de las Ciencias Espaciales, la Astrofísica y el Cómputo en apoyo a las Geociencias, destacando los siguientes (LACIGE, 2020):
  - Estudio de perturbaciones ionosféricas (PI);
  - Cálculo del contenido de electrones (TEC) en la ionosfera terrestre;
  - Análisis de imágenes solares con telescopios especiales del LACIGE;
  - Estudios de objetos cercanos a la Tierra (NEOs);
  - Estudios de plasmas astrofísicos;
  - Estudios de ondas e inestabilidades en plasmas espaciales.
  
- **Laboratorio Nacional de Clima Espacial, LANCE**; del Instituto de Geofísica Unidad Michoacán de la UNAM y de la Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL; se encuentra integrado por el Servicio de Clima Espacial México (SCiESMEX), el Repositorio Institucional de Clima Espacial (RICE), el Centro de Supercómputo de Clima Espacial (CESCOM) y la Red de Instrumentación de Clima Espacial de la UNAM y de la UANL. El LANCE recopila y procesa información del entorno espacial para informar sobre el estado del clima espacial en México. Los productos que se desarrollan en el LANCE están enfocados en registrar el impacto que tiene el clima espacial en la infraestructura del país como son: las radiocomunicaciones, la distribución de energía eléctrica y los errores en los sistemas de posicionamiento GPS. Sus objetivos son:
  - Operar un servicio que ejecute el monitoreo del CE siguiendo estándares internacionales y que responda a las necesidades de Seguridad Nacional;
  - Operar un sistema de alerta temprana; y asesorar al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la AEM para establecer los protocolos de protección civil que indica la LGP<sup>51</sup> (LANCE, 2020).

- **Inversionistas**

Sector Académico, Público y Privado.

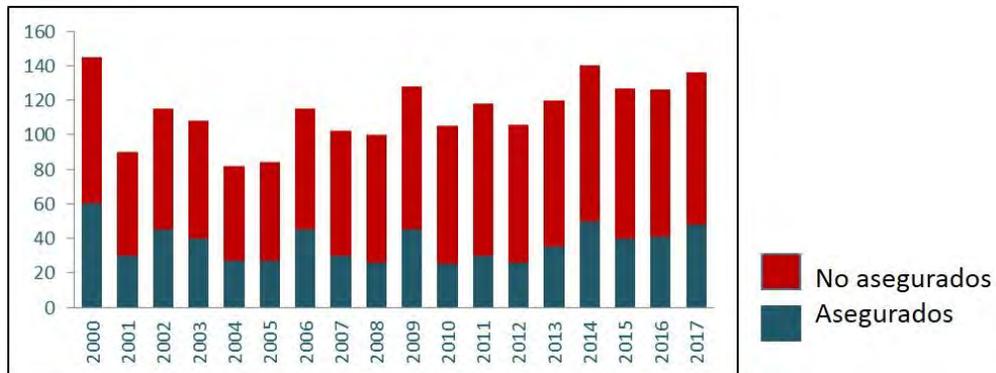
---

<sup>50</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores.

<sup>51</sup> Ley General de Protección.

- **Aseguradoras**

El seguro de satélites presenta unas características muy especiales que lo distinguen del resto de seguros (MAPFRE-Global-Risks, 2020). No todos los satélites que se lanzan están asegurados (Fig. 14). Sólo un porcentaje de esta contrata una póliza de seguros para cubrir los daños durante el lanzamiento (MAPFRE-Global-Risks, 2020).



**Figura 14. Mercado de satélites asegurados y no asegurados.**  
**Fuente: MAPFRE-Global-Risks (2020).**

De acuerdo con MAPFRE-Global-Risks (2020), en un satélite hay dos momentos críticos: el lanzamiento y la vida en órbita:

1) La fase del lanzamiento: es el momento en que empieza la ignición de los motores, el momento de mayor riesgo en la operación, y aunque el avance tecnológico ha permitido ganar en seguridad, todavía en la actualidad conlleva un riesgo importante. Se considera que esta fase finaliza con la separación del satélite de su vehículo lanzador, que es cuando comienza la fase que se conoce como vida en órbita (MAPFRE-Global-Risks, 2020). Un año antes de la fecha prevista para un lanzamiento, y una vez cerrado el diseño técnico del satélite, se planifican actividades para contratar los seguros (La-Vanguardia, 2020).

2) La vida en órbita: una vez separado el satélite del vehículo lanzador, entra en vigor la cobertura de vida en órbita, que tiene una duración de 12 meses y se renueva anualmente hasta completar la vida útil del satélite, que suele ser de unos 15 años en los satélites de comunicaciones (MAPFRE-Global-Risks, 2020; La-Vanguardia, 2020).

Alrededor de 40 compañías aseguran el lanzamiento y la vida en órbita de 300 satélites en el mundo (La-Vanguardia, 2020). Entre las aseguradoras de satélites artificiales que se encuentran en nuestro país y a nivel global, están: MAPFRE, AXA XL y Allianz.

MAPFRE, cuenta con las siguientes coberturas:

- Seguro de prelanzamiento
- Seguro de lanzamiento
- Seguro de vida en órbita

En el caso de AXA XL, ofrece cobertura:

- En lanzamiento para naves espaciales y vehículos de lanzamiento desde la ignición hasta la separación de la nave espacial en órbita.
- Posterior a la separación para naves espaciales a través de operaciones iniciales, despliegues, elevación de órbitas y pruebas.
- En órbita para operaciones continuas de satélites a lo largo de su vida.
- Para usuarios de transpondedores, incluida la pérdida de ingresos y gastos adicionales.
- Para fabricantes de satélites por pérdida de incentivos y pagos de garantía.
- Para garantías de riesgo de lanzamiento.
- Especializada para satélites pequeños y misiones únicas.
- De prelanzamiento y lanzamiento.
- De lanzamiento y cobertura de responsabilidad en órbita (AXA-XL, 2020).

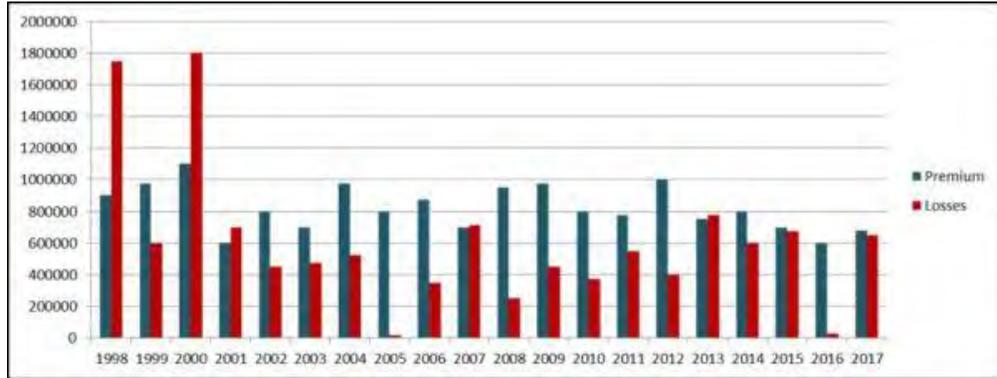
MAPFRE-Global-Risks (2020), destaca la importancia de que cualquier compañía de seguros que suscriba seguros de satélites, tiene que operar globalmente para así poder asegurar cualquier satélite en cualquier parte del mundo. Además de disponer de equipos especializados y con gran conocimiento en las particularidades técnicas del producto.

También, subraya que las sumas aseguradas en este mercado son muy elevadas, ya que el valor asegurado de un satélite puede alcanzar los 500 millones de dólares. Además, hay que tener en cuenta que desde un mismo lanzador pueden proyectarse varios satélites al mismo tiempo, lo que puede dar lugar a un cúmulo en los mercados aseguradores, situación que todo asegurador quiere evitar, ya que supone tener la posibilidad de sufrir una pérdida potencial elevada. La figura 15, muestra las estadísticas a nivel mundial sobre la Prima anual vs Siniestros (*Ibidem*).

A pesar de que AXA-XL tiene una cobertura especializada para satélites pequeños y misiones únicas; MAPFRE-Global-Risks (2020), hace hincapié en que la tendencia de fabricar satélites de menor tamaño y bajo un esquema de lanzamiento múltiple, como lo son los nanosatélites<sup>52</sup>, representa un mayor riesgo, pues tienen una alta tasa de mortalidad y en muchas ocasiones, sus componentes no son de calidad espacial y tampoco implementan sistemas de redundancia en caso de que algo falle.

---

<sup>52</sup> Satélites cuya masa es de 1 a 10 kg.



**Figura 15. Estadísticas a nivel mundial - Prima anual vs. Siniestros.**  
**Fuente: MAPFRE-Global-Risks (2020).**

- **Reguladoras**

Una entidad reguladora es creada por el gobierno de cada país, para controlar determinado sector o industria. Dentro del sector satelital nacional, se contemplan las siguientes entidades nacionales e internacionales, que intervienen en la Cadena de Valor:

**Nacionales:**

- **El Instituto Federal de Telecomunicaciones, IFT;** es una autoridad reguladora y de competencia independiente, eficaz y transparente, que contribuye al desarrollo de las telecomunicaciones y la radiodifusión (IFT, 2020). Su misión es desarrollar de forma eficiente las telecomunicaciones y la radiodifusión para el beneficio de los usuarios y audiencias del país a través de:
  - I. Regular, promover y supervisar el uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, la infraestructura, las redes y la prestación de los servicios;
  - II. Impulsar condiciones de competencia efectiva en los mercados; y
  - III. Promover el acceso a las tecnologías y servicios de telecomunicaciones y radiodifusión. (*Ibidem*).
- **Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT;** encargada de administrar, regular y fomentar las vías y sistemas de comunicación y transporte. Cuenta con una Dirección General de Política de Telecomunicaciones y de Radiodifusión (DGPTR), que coordina los procedimientos para la obtención de posiciones orbitales con sus respectivas bandas de frecuencias. (*Ibidem*).

## **Internacionales:**

- **Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT;** órgano de las Naciones Unidas especializado en la materia, se encarga de administrar el recurso órbita-espectro de tal forma que todos los Estados tengan el mismo derecho de acceso a dicho recurso (IFT, 2013). A efecto de administrar el recurso órbita-espectro, la UIT cuenta con el Reglamento de Radiocomunicaciones, en el que se establecen los mecanismos y procedimiento para que los Estados accedan a dicho recurso. Este procedimiento se conoce comúnmente como procedimiento de coordinación y se integra de tres etapas (IFT, 2013):
  - **Publicación anticipada:** en esta etapa, la Administración interesada envía a la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT la información inicial de su proyecto de ocupación orbital. Una vez que ha sido recibido por dicha oficina, ésta la analiza y la publica en una circular, incluyendo una lista de las administraciones identificadas como afectadas (*Ibidem*).
  - **Coordinación:** en esta etapa, la Administración envía a la Oficina de Radiocomunicaciones la Información de coordinación, la cual contiene información mucho más detallada sobre el proyecto y también es publicada para conocimiento de todos los miembros. Durante esta etapa la Administración notificante busca coordinar con las administraciones que se hayan declarado afectadas. En este punto la Administración solicitante prácticamente debe contar con un proyecto real ya que se requiere negociar a un nivel técnico muy preciso; hasta que se obtenga el acuerdo de las partes afectadas (*Ibidem*).
  - **Notificación:** la Administración solicitante envía a la Oficina de Radiocomunicaciones la información de notificación relativa a la red satelital, a efecto de que dicha oficina la publique esta información y realice su análisis a efecto de que, de ser favorable, proceda a la inscripción de la red satelital en el Registro Internacional de Frecuencias (*Ibidem*).

Cabe destacar que a efecto de garantizar el acceso a la órbita geoestacionaria la UIT planeó otorgar determinadas posiciones a los Estados miembros a efecto de que contaran con servicios satelitales en su territorio. Por ello, México obtuvo por adjudicación el derecho a ocupar y explotar las posiciones orbitales y sus bandas asociadas 69° Oeste, 77° Oeste, 127° Oeste y 136° Oeste para el servicio de radiodifusión por satélite, cubriéndose la mitad del territorio nacional desde cada una de esas posiciones orbitales (dos la parte norte y dos la parte sur), y 113° Oeste para el servicio fijo por satélite con cobertura nacional (*Ibidem*).

- **Comité sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, COPUOS<sup>53</sup>-ONU<sup>54</sup>**; de acuerdo con (Farah, 2017), es el principal foro internacional para el desarrollo de leyes y principios que rigen las actividades espaciales. El Comité cuenta con un Subcomité Científico y Técnico y con un Subcomité Jurídico (COPUOS, 2020). Dentro de las actividades relacionadas con la seguridad en el espacio y la sustentabilidad, la COPUOS establece las directrices para la reducción de desechos espaciales (Farah, 2017).
- **Comité Interinstitucional de Coordinación en Materia de Desechos Espaciales, IADC<sup>55</sup>**; es un foro gubernamental internacional para la coordinación mundial de las actividades relacionadas con los residuos en el espacio. Los propósitos principales de la IADC son el intercambio de información sobre las actividades de investigación sobre desechos espaciales entre las agencias espaciales que lo conforman; facilitar las oportunidades de cooperación en la investigación de los desechos espaciales; revisar el progreso de las actividades de cooperación en curso; e identificar opciones de reducción de desechos (*Ibidem*).

- **Certificadoras**

El principal organismo certificador en el área espacial es: *Space Foundation* con su *Space Certification Program*.

Otras empresas que certifican en el área aeroespacial son:

- BSI Group
- SAI Global
- DQS de México
- TUV-Nord

---

<sup>53</sup> Committee on the Peaceful Uses of Outer Space

<sup>54</sup> Organization de las Naciones Unidas

<sup>55</sup> Inter-Agency Space Debris Coordination Committee

### **3 CAPACIDADES NACIONALES EN EL SECTOR SATELITAL**

---

Identificar aquellos actores que intervienen dentro de la cadena de valor satelital en México, es parte importante de reconocer quiénes son los participantes en este sector. Sin embargo, para poder conocer las capacidades nacionales, se hizo una recopilación a partir de los “*Clústers Aeroespaciales en México*”, de la RedCyTE (2018) y del “Catálogo y análisis de capacidades de investigación y desarrollo tecnológico espacial en México”, publicado por la Agencia Espacial Mexicana en 2014. Estas capacidades se clasificaron por sector, de la siguiente manera:

- [Academia](#)

#### ➤ **Infraestructura**

De acuerdo con la RedCyTE (2018), existen:

- 56 instituciones nacionales
- 9 centros de investigación
- 4 laboratorios nacionales
- 6 instituciones extranjeras

Estas dependencias académicas fueron indicadas en el apartado 2.4 de esta tesis. Su infraestructura, ha permitido establecer vínculo con otras entidades, tanto nacionales como internacionales, para llevar a cabo proyectos satelitales.

#### ➤ **Investigación**

La RedCyTE (2018), tiene un registro de 305 miembros, de los cuales, 162 son investigadores. Los proyectos que realizan, se clasifican dentro de las siguientes disciplinas:

- **Desarrollo tecnológico**

Se llevan a cabo proyectos como el desarrollo de nanosatélites y microsatélites, el desarrollo de recubrimientos metálicos y cerámicos que soportan climas espaciales, el desarrollo de sistemas de propulsión y plataformas de simulación (*Ibidem*).

- **Conocimiento del Universo**

Se realizan proyectos como el estudio del clima y la actividad solar, mediciones de fenómenos ionosféricos y sus efectos sobre comunicaciones y otras aplicaciones. (*Ibidem*).

- **Desarrollo sustentable**

Se desarrollan proyectos como la sustentabilidad en misiones espaciales. (*Ibidem*).

- **Salud y sociedad**

Se llevan a cabo proyectos como la tele-epidemiología de enfermedades transmitidas por vectores (*Ibidem*).

➤ **Formación de Recursos Humanos**

En el apartado 2.4 de esta tesis, se indica qué instituciones nacionales, cuentan con licenciaturas y posgrados que imparten estudios en Ciencia y Tecnología Espacial.

- **Industria**

➤ **Infraestructura**

De acuerdo con el Catálogo y análisis de capacidades de investigación y desarrollo tecnológico espacial en México (AEM, 2014); existen 270 empresas y entidades de apoyo en su mayoría extranjeras, de las cuales gran parte cuentan con certificaciones NADCAP<sup>56</sup> y AS9100, la mayoría ubicados en los Estados de

---

<sup>56</sup> National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program

Baja California, Sonora y Querétaro. En este mismo Catálogo, también se indica que el 80% de estas empresas se dedican a la manufactura, el 10% a Investigación y Desarrollo, y el 10% restante, a servicios de mantenimiento y reparación (AEM, 2014).

➤ **Actores de la Cadena de Valor y Áreas en las que incursionan**

El Chihuahua's-Aerospace-Cluster (2019); señala que las principales áreas en donde incursionan estos actores son:

- Adhesivos de calidad espacial (fabricantes)
- Componentes estructurales (fabricantes)
- Ensamblado de componentes (fabricantes, laboratorios)
- Diseño asistido por computadora (fabricantes, laboratorios)
- Manufactura asistida por computadora (fabricantes, laboratorios, centros de I+D)
- Componentes eléctricos y electrónicos de calidad automotriz y espacial (fabricantes, proveedores, distribuidores)
- Componentes de motores (fabricantes, proveedores, distribuidores)
- Arnéses y cables (fabricantes, proveedores, distribuidores)
- Maquinaria de alta precisión (proveedores)
- Equipo y sistemas hidráulicos (fabricantes, proveedores, distribuidores)
- Herramientas metálicas (fabricantes)
- Equipos y servicios avanzados de metrología (laboratorios, centros de I+D, fabricantes)
- Pruebas y certificación (laboratorios, centros de I+D, certificadoras)
- Investigación, diseño y desarrollo (laboratorios, centros de I+D, instituciones educativas)
- Soldadura de calidad espacial (proveedores, distribuidores)
- Modelado 3D (fabricantes)
- Tratamiento térmico de metales (laboratorios, centros de I+D)
- Certificaciones en el área aeroespacial (certificadoras)

- **Gobierno**

En el apartado 2.4 se indicó que el gobierno es un usuario muy importante de los servicios satelitales. Sin embargo, el sector gubernamental no sólo tiene este

papel, sino también, implementa aquellos instrumentos de política industrial y tecnológica en México.

De acuerdo con Nieto Colín (2017), los 90's fue una década crucial en México, pues se comenzaron a manifestar algunas tendencias para establecer colaboraciones público-privadas para financiar a la investigación, principalmente si ésta abordara temas nacionales, sectoriales y regionales.

Ante esta situación, surge el interés de adaptar los Programas Nacionales de Desarrollo (PND) y las políticas sectoriales de desarrollo tecnológico, industrial y territorial hacia el diseño de instrumentos capaces de *regular* la inversión extranjera, la transferencia de tecnología y la generación, difusión y aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos que requiere el desarrollo nacional (Aparicio, 2017; Nieto Colín, 2017).

De acuerdo con Aparicio (2017), Nieto Colín (2017) clasifica a estos instrumentos de la siguiente manera:

*1. Instrumentos para la Planeación Tecnológica, que incluye:*

1.1 Plan Nacional de Desarrollo (PND)

1.2 Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECITI)

1.3 Programa para el Desarrollo de la Competitividad de las Empresas

1.4 Ley de Ciencia y Tecnología

1.5 Ley Orgánica del CONACYT

1.6 Programa Nacional de Actividades Espaciales, PNAE (2013-2018); el cual está alineado para formular y conducir las acciones que necesita México para el desarrollo de capacidades nacionales en observación de la tierra, tecnología de navegación global por satélite, el transporte espacial, las comunicaciones satelitales, aplicaciones para mejorar la eficiencia y seguridad de los medios logísticos, el monitoreo y vigilancia en las carreteras y en general de los recursos estratégicos del país (PNAE, 2018).

1.7 Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes

*2. Instrumentos para la Creación y Fortalecimiento de Infraestructura:*

2.1 Infraestructura de Investigación en México a través de sus Instituciones

i. Institutos de Investigación coordinados por el CONACYT

ii. Institutos de Investigación no coordinados por el CONACYT

- iii. Gasto Nacional en Ciencia y Tecnología
- iv. Gasto Federal en Ciencia y Tecnología

## 2.2 Programas Nacionales sobre Formación de Recursos Humanos para el Desarrollo Tecnológico

- i. Programas de Becas.
- ii. Sistema Nacional de Investigadores (SNI)
- iii. Programa de Apoyo al Posgrado

### 3. *Instrumentos de Regulación y Control*

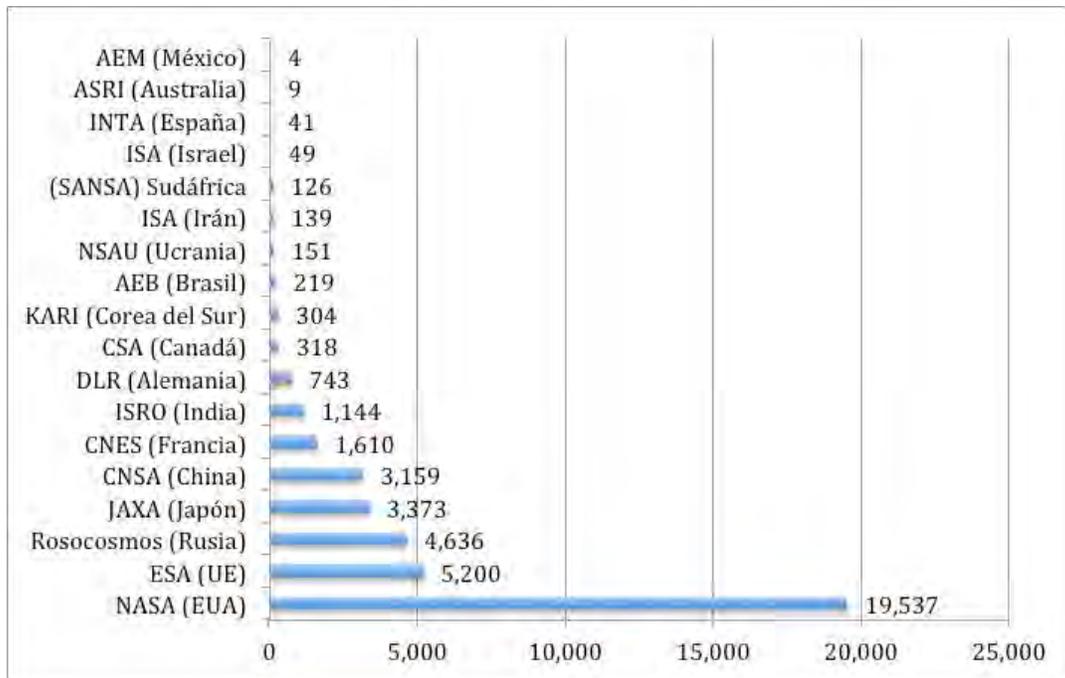
- 3.1 Ley de Propiedad Industrial
- 3.2 Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)
- 3.3 Regulación satelital en México IFT (IFT, 2013)

### 4. *Instrumentos de Fomento al Desarrollo Tecnológico*

- 4.1 Mecanismos de Financiamiento del CONACYT
  - i. Fondo Sectorial de Investigación en Actividades Espaciales (FIDAE), AEM – CONACYT

Conocer los instrumentos que regulan temas en materia de ciencia y tecnología, es importante para entender el contexto nacional. Sin embargo, para tener un panorama más general, se destaca que el sector gubernamental invierte en ciencia, tecnología e innovación, menos del 0.5 % del Producto Interno Bruto, PIB; a diferencia de otros países como Estados Unidos, Alemania, Australia, Francia y la Unión Europea, con un porcentaje de PIB dedicado de más de 2% (AEM, 2014).

Centrándonos en el área espacial, se puede observar en la Figura 16, el presupuesto de algunas agencias espaciales civiles. Aquellas con mayor presupuesto registrado en 2012 a nivel mundial son la NASA, la ESA y Roscosmos (Agencia Espacial Rusa). Lamentablemente, México se encuentra en el último lugar de la gráfica. A la fecha, esta situación ha prevalecido.



**Figura 16. Presupuestos de algunas agencias espaciales en millones de dólares (USD), 2012. Fuente: AEM (2014)**

### 3.1 Análisis situacional FODA

Otro aspecto importante, además de la identificación de los actores y áreas en donde estos incursionan, es la identificación de los nichos de oportunidad del sector satelital. En este trabajo, se propone realizar dicha identificación, a través de un análisis situacional FODA.

FODA, es una técnica para el análisis situacional sistémico de las relaciones que existen entre las Fortalezas y Debilidades (factores internos) y las Amenazas y Oportunidades (factores externos) de una entidad o sector. Es útil para identificar las estrategias maestras o de desarrollo, así como las estrategias particulares, necesarias para la programación y presupuestación de esta entidad o sector. En síntesis, el análisis situacional FODA busca potenciar las fortalezas de la organización para aprovechar las oportunidades, contrarrestar las amenazas y corregir las debilidades. Es un marco de referencia que permite establecer las líneas de actuación futuras, pues ayuda a dar mayor contexto en base a la identificación de los problemas (Sánchez Guerrero, 2016).

De acuerdo con ProMéxico-AEM (2017) y Farah (2017), la Tabla 1, describe las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas dentro de sector espacial mexicano.

**Tabla 1. Análisis FODA del sector espacial mexicano.**  
**Fuente: adaptado de ProMéxico-AEM (2017) y Farah (2017).**

	<b>Puntos fuertes</b>	<b>Puntos débiles</b>
<b>Factores internos</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Experiencia en otros sectores relacionados, como el aeronáutico y de manufactura.</li> <li>2.Recursos humanos con talento, específicamente en ingeniería y desarrollo técnico.</li> <li>3.Experiencia en vinculación con diversos grupos académicos, agencias internacionales y sector privado.</li> <li>4.Universidades, centros de investigación y laboratorios de alto nivel e infraestructura.</li> <li>5.Instrumentos de política tecnológica e industrial (legislación, tratados comerciales y regulación).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de estrategia para el desarrollo del sector.</li> <li>2. Baja percepción del gran potencial e importancia del sector.</li> <li>3. Limitada coordinación entre la triple hélice (academia, industria, gobierno).</li> <li>4. Deficiente vinculación entre la academia, las necesidades de la industria y el bajo presupuesto gubernamental.</li> <li>5. Pocas empresas nacionales especializadas en alta tecnología espacial.</li> <li>6. Fuga de talento.</li> </ol>
<b>Factores externos</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Desarrollo de nuevas tecnologías a bajo costo.</li> <li>2.Nuevos nichos de mercado y áreas de investigación.</li> <li>3.Ventajas comparativas (ubicación geográfica: cercanía con el mercado americano y la industria latinoamericana).</li> <li>4.Vínculos internacionales para países emergentes, gracias a la regulación actual.</li> <li>5.Desarrollo de proyectos de alto nivel con agencias espaciales internacionales.</li> <li>6. Formación de recursos humanos, con la creación de nuevas licenciaturas y posgrados afines.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducción de la inversión gubernamental.</li> <li>2. Dependencia tecnológica.</li> <li>3. Competencia internacional de países emergentes como Corea, China e India.</li> <li>4. Inseguridad nacional.</li> <li>5. Cancelación de acuerdos comerciales.</li> <li>6. Aumento de la brecha tecnológica.</li> <li>7. Inversiones de alto riesgo en este sector.</li> </ol>

Farah (2017); destaca en el anterior análisis, la situación de la industria espacial mexicana en comparación con la del resto del mundo y se identifican aquellos aspectos que deberán aprovecharse o mejorarse para consolidar un sector espacial de talla mundial. Farah concluye que “la principal fortaleza de la industria espacial mexicana es su experiencia, que se relaciona con el auge del sector aeroespacial y las capacidades del país en manufactura avanzada. (...) Aun cuando, la segunda fortaleza radica en el talento de profesionales en las áreas tecnológicas y de ingeniería del país, cabe destacar que éstos no tienen la especialización que requiere la industria espacial, lo cual representa una de sus debilidades, ya que por una parte se cuenta con personal capacitado en diversas áreas de ingeniería, pero por otra, aún no se cuenta con profesionales con capacidades y competencias desarrolladas para poder realizar las actividades de la industria espacial mexicana necesarias para lograr un mayor valor agregado en este sector”.

Asimismo, Farah indica que la principal amenaza que enfrenta el sector espacial en México se relaciona con la competencia de diversos países, entre los que destacan Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica. Otras amenazas en el nivel internacional son el proteccionismo económico y las barreras no arancelarias, así como obstáculos a la transferencia tecnológica por cuestiones de seguridad nacional.

Finalmente, Farah (2017) señala que una oportunidad que tiene México en este sector es el desarrollo de proveedores locales que participen en las cadenas de valor del sector aeroespacial en actividades de mayor valor agregado como diseño, ingeniería y manufactura avanzada.

### **3.2 Análisis estratégico FODA-CAME**

Una vez realizado el análisis FODA, se empleará la técnica de Análisis estratégico FODA-CAME<sup>57</sup> (Figura 17). Si bien, la matriz FODA nos da información muy valiosa para diseñar el plan de acción; CAME permite maximizar los aspectos obtenidos del FODA, para poder llevarlos a la práctica (Betancourt, 2018). La intención de este análisis es establecer las acciones o estrategias que se puedan llevar dentro del sector para poder mejorarlo, y evitar aquellas que empeoren la situación actual.

---

<sup>57</sup> **CAME**: **C**orregir debilidades, **A**frontar amenazas, **M**antener fortalezas, **E**xplotar oportunidades.



Figura 17. Análisis estratégico CAME. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con Betancourt (2018), normalmente las estrategias se pueden clasificar de la siguiente manera (Fig. 18):

- **Estrategia defensiva:** Busca evitar que empeore la situación actual del sector o mercado. Las acciones enfocadas en este tipo de estrategias son las de afrontar amenazas y mantener fortalezas.
- **Estrategia ofensiva:** Busca mejorar la situación actual del sector mediante acciones enfocadas a explotar las oportunidades y mantener/reforzar las fortalezas, es decir, se centra en las ventajas competitivas del sector.
- **Estrategia de reorientación:** Busca corregir las debilidades del sector a partir de acciones enfocadas a explotar oportunidades.
- **Estrategia de supervivencia:** Busca eliminar los aspectos negativos que perjudican al sector, mediante acciones enfocadas a corregir las debilidades y afrontar amenazas.

La Tabla 2 muestra el análisis estratégico FODA-CAME de este trabajo de investigación.



Figura 18. Estrategias del análisis FODA-CAME. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Análisis estratégico FODA-CAME del sector satelital en México. Fuente: elaboración propia.

		Fortalezas	Debilidades
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Experiencia en otros sectores relacionados, como el aeronáutico y de manufactura</li> <li>Recursos humanos con talento, específicamente en ingeniería y desarrollo técnico</li> <li>Experiencia en vinculación con diversos grupos académicos, agencias internacionales y sector privado</li> <li>Universidades, centros de investigación y laboratorios de alto nivel e infraestructura</li> <li>Instrumentos de política tecnológica e industrial (legislación, tratados comerciales y regulación)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Falta de estrategia para el desarrollo del sector</li> <li>Baja percepción del gran potencial e importancia del sector</li> <li>Limitada coordinación entre la triple hélice (academia, industria, gobierno)</li> <li>Deficiente vinculación entre la academia, las necesidades de la industria y el bajo presupuesto gubernamental</li> <li>Pocas empresas nacionales especializadas en alta tecnología espacial</li> <li>Fuga de talento</li> </ol>
Oportunidades	Estrategia ofensiva	<b>Estrategia de reorientación</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>Desarrollo de nuevas tecnologías a bajo costo</li> <li>Nuevos nichos de mercado y áreas de investigación</li> <li>Ventajas comparativas (ubicación geográfica):</li> </ol>	<b>EO1: Recursos humanos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Talento en áreas de ingeniería y desarrollo técnico</li> <li>Creación de nuevas licenciaturas y posgrados afines</li> </ul> <b>EO2: Experiencia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>En otros sectores relacionados</li> </ul>	<b>ER1: Uso de estrategias ofensivas ante la falta de una estrategia para el desarrollo del sector</b> <b>ER2: Resaltar la importancia del Desarrollo de las Ciencias y Tecnologías Espaciales, mediante estudios de</b>	

<p>cercanía con el mercado americano y la industria latinoamericana)</p> <p>4. Vínculos internacionales para países emergentes, gracias a la regulación actual</p> <p>5. Desarrollo de proyectos de alto nivel con agencias espaciales internacionales</p> <p>6. Formación de recursos humanos, con la creación de nuevas licenciaturas y posgrados afines</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En vinculación con entidades nacionales e internacionales, aplicando los instrumentos de política industrial y tecnológica</li> </ul> <p>EO3: Ventaja comparativa: ubicación geográfica</p> <p>EO4: Desarrollo de las Ciencias y Tecnologías Espaciales, mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologías de bajo costo</li> <li>• Incursión en nuevos mercados y áreas de investigación</li> <li>• Desarrollo de proyectos de alto nivel con agencias espaciales internacionales</li> </ul> <p>EO5: Infraestructura</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidades, centros de investigación y laboratorios de alto nivel</li> </ul>	<p>factibilidad o análisis como el presente trabajo</p> <p>ER3: Identificación de fortalezas y debilidades de cada sector de la triple hélice, con el fin de conocerlos y poder establecer una mejor vinculación</p> <p>ER4: Aprovechar la creación de nuevas licenciaturas y posgrados, para el desarrollo de proyectos nacionales que integren aquellos talentos en áreas de ingeniería y desarrollo técnico, evitando la fuga de cerebros</p>
<p style="text-align: center;"><b>Amenazas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducción de la inversión gubernamental</li> <li>2. Dependencia tecnológica</li> <li>3. Competencia internacional de países emergentes como Corea, China e India</li> <li>4. Inseguridad nacional</li> <li>5. Cancelación de acuerdos comerciales</li> <li>6. Aumento de la brecha tecnológica</li> <li>7. Inversiones de alto riesgo en este sector</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Estrategia defensiva</b></p> <p>ED1: Ante un difícil aumento en el PIB para la ciencia, tecnología e innovación, y una falta de garantía de asignación de mayores recursos para el sector espacial; será necesario realizar proyectos autosustentables, que permitan recuperar la inversión y generar recursos; de esta manera, se podrán financiar otros proyectos más.</p> <p>ED2: Como primer paso, se puede hacer uso de ciertos componentes y subsistemas, para integrar un satélite. Sin embargo, el fin será que éstos se desarrollen de forma nacional, evitando en un futuro a mediano plazo, la dependencia tecnológica. Para hacerlo posible, convendrá usar las estrategias ofensivas y tomar como base a la experiencia de países emergentes como Corea, China e India, que hace 30 años, se encontraban en las mismas condiciones que México</p> <p>ED3: Contrarrestar esa brecha tecnológica con la formación de recursos humanos y el desarrollo de proyectos satelitales nacionales</p> <p>ED4: Seguir modelos del análisis y diseño de misiones satelitales, que usan las agencias espaciales internacionales, para que, en base a su experiencia, se contrarresten los riesgos que conlleva el realizar una misión satelital</p>	<p style="text-align: center;"><b>Estrategia de supervivencia</b></p> <p>ES1: Implementar las estrategias de reorientación y defensivas, para reducir -o en el mejor de los casos-, eliminar los aspectos negativos que perjudican al sector satelital en México</p>

Definidas las estrategias CAME, se analizan cuáles son las acciones que se llevarán a cabo dentro del sector; considerando factores como tiempo, disponibilidad de recursos económicos, recursos humanos, impacto en el sector, etc. Con esta información, se procederá a definir la propuesta técnica de este trabajo de investigación.

### 3.3 Resumen preliminar, selección de estrategias y el impacto por COVID-19 al sector satelital

#### 3.3.1 Industria satelital internacional

En el apartado 2.3 de esta tesis, se indicó que:

- Los mayores ingresos comerciales a partir 2018 serán por parte de los satélites de navegación y el pronóstico es que se mantengan en primer lugar al menos los siguientes 8 años, con una tasa de crecimiento anual del 5% (Euroconsult, 2019).
- A partir de 2020 existirá un auge en el mercado de pequeños satélites (Euroconsult - b, 2020); siendo 7 las aplicaciones que tendrán:
  - **Comunicaciones:** brindan servicios de comunicaciones de banda ancha, incluyendo internet y radiodifusión (*Ibidem*).
  - **Observación de la Tierra:** satélites para observación electroóptica y radar de la Tierra, así como para meteorología (*Ibidem*).
  - **Información:** Proporcionan servicios de banda estrecha (*Internet of Things* [IoT] and *Machine to Machine* [M2M]), recopilación de datos de sensores terrestres aéreos y atmosféricos; así como monitoreo de Radiofrecuencia (RF) (*Ibidem*).
  - **Tecnología,** satélites de desarrollo tecnológico que servirán para probar tecnologías o componentes de los subsistemas que lo conforman (*Ibidem*).
  - **Seguridad:** para vigilancia espacial, alerta temprana de misiles y monitoreo de objetos cercanos a la Tierra (*Ibidem*).
  - **Exploración científica:** para astrofísica y astronomía (*Ibidem*).
  - **Logística espacial:** satélites que principalmente remuevan escombros (*Ibidem*).

- De los 10,100 satélites pequeños que se estiman lanzar en los siguientes 9 años: 5,700 satélites serán de comunicaciones, 1,520 serán de Observación de la Tierra, y se estima que el resto (2,880) sean con otras aplicaciones. Sin embargo, en estos casos, hay altos niveles de incertidumbre, ya que el mercado de pequeños satélites es muy volátil, por ejemplo, el lanzamiento de una constelación, puede representar cientos de satélites de variación (*Ibíd.*).

### **3.3.2 Industria satelital nacional**

De acuerdo con el apartado 2.4 de esta tesis, existen a lo largo de la cadena de valor nacional:

#### **Segmento *downstream*:**

- Al menos 27 fabricantes de componentes / sistemas satelitales (la mayoría extranjeros)
- 1 empresa dedicada al diseño y fabricación de sistemas de propulsión química de cohetes y componentes ópticos de muy alta precisión

#### **Segmento *upstream*:**

- 4 estaciones terrenas y centros de control de misión
- Al menos 3 operadores satelitales
- Usuarios en la triple hélice, por orden de importancia:
  - Academia, con desarrollo y uso principalmente de satélites de (1) Observación de la Tierra, (2) Comunicación y, (3) Navegación.
  - Industria, con uso principalmente de satélites de (1) Navegación, (2) Comunicación y, (3) Observación de la Tierra.
  - Gobierno, con uso de satélites de (1) Comunicación, (2) Navegación y, (3) Observación de la Tierra.

### **3.3.3 Actores a lo largo de la cadena de valor:**

- 2 entidades gubernamentales involucradas en el impulso del sector (AEM, CONACYT a través de la RedCyTE y el FIDAE);
- 56 instituciones nacionales;

- 9 centros de investigación;
- 4 laboratorios nacionales;
- 6 instituciones extranjeras;
- Al menos 2 aseguradoras de satélites;
- 2 entidades gubernamentales reguladoras dentro del sector;
- Al menos 3 entidades internacionales, reguladoras dentro del sector;
- Al menos 5 empresas certificadoras en el área.

Las áreas en las que incursionan los anteriores actores se indican en el Capítulo 3 de esta tesis.

### 3.3.4 Selección de Estrategias para el Desarrollo del Sector Satelital Nacional

Con referencia a la tabla 2 del apartado 3.2 de esta tesis, se propone implementar en la propuesta técnica, las siguientes estrategias: EO1, EO2, EO3, EO4, EO5, ED1, ED2, mismas que se encuentran descritas en la Figura 19.



Figura 19. Estrategias para el Desarrollo del Sector Satelital Nacional.

Fuente: elaboración Propia, adaptado de la Tabla 2.

### 3.3.5 El impacto de la pandemia por COVID-19 al sector satelital

Como se ha mencionado, el sector satelital nacional está muy acotado, la mayor parte de la información que se tiene es con referencia al sector aeroespacial, por ello se considera como referente, la siguiente videoconferencia llevada a cabo el 09 de julio de 2020, bajo el título “Las perspectivas de la Industria Aeroespacial en México después de la crisis del COVID-19”, que impartió Luis Lizcano, Presidente Ejecutivo de la FEMIA<sup>58</sup> (MEXICO INDUSTRY, 2020); quien dio un panorama de cómo era el sector aeroespacial nacional antes de la pandemia por COVID-19, el cual, desde 2003 hasta 2019 había crecido anualmente en sus exportaciones en promedio un 14.3%. Para 2020, Lizcano indicó 3 posibles escenarios en los niveles de exportación en la industria aeroespacial en México: 1) Pesimista, con reducción del 45%, 2) Normal, con reducción del 35% y, 3) Optimista, con reducción del 25% (Fig. 20).



Figura 20. Proyección de Exportaciones en la Industria Aeroespacial en México.

Fuente: MEXICO INDUSTRY (2020).

<sup>58</sup> FEMIA: Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial, A.C

Luis Lizcano mencionó que, en general, la pandemia impactaría negativamente a muchos sectores a nivel internacional, haciendo hincapié en que, difícilmente habría algún sector que pudiera “salvarse” de este impacto. Sin embargo, Lizcano estimó que para 2022 - 2023 se podría tener una recuperación que permita estar en los mismos niveles que se tenían antes de la pandemia (Fig. 21).



**Figura 21. Balanza Comercial de la Industria Aeroespacial en México.**  
**Fuente: MEXICO INDUSTRY (2020).**

Como conclusión, Luis Lizcano mencionó que en 2020 se espera:

- Una reducción del 25% al 45% en el crecimiento de la industria aeroespacial en México.
- Un impacto (aún desconocido) en varias empresas que no logren “sobrevivir” a esta crisis.
- Pérdida de más de 20 mil empleos directos (al menos temporalmente).
- Una crisis jamás vista, pero con grandes oportunidades para superarla, a través de: la sustitución de importaciones en el sector Aeroespacial, siendo México una alternativa en América, junto con

otros países de otros continentes, para que EEUU y Europa disminuyan su dependencia con China; a través de una reconversión y transformación, es decir, mediante la competencia de PyMES <sup>59</sup> en sectores globales de alto valor (médico, automotriz y aeroespacial). (*Ibídem*).

Respecto a la industria satelital internacional, como se había comentado previamente, a pesar de que Euroconsult-ec aún no publica su Reporte de la Economía del Espacio 2020; sí publicó su Reporte de Prospectivas para el Mercado de Pequeños Satélites, del cual se mostraron algunos de los resultados en el apartado 2.3 de esta tesis.

Cabe destacar que, en el Reporte de Prospectivas para el Mercado de Pequeños Satélites, Euroconsult – b (2020) incluye un apartado dedicado al tema de la pandemia por COVID-19 y su impacto en el mercado de pequeños satélites, en donde recalca un **crecimiento constante en la demanda de satélites pequeños a pesar del COVID-19**, asegurando que:

- Existen nuevos inversionistas dispuestos a financiar grandes misiones de constelaciones satelitales<sup>60</sup>, los cuales son suficientes para equilibrar el impacto del COVID-19. Numerosas empresas han desarrollado soluciones satelitales basadas en constelaciones, pues eso les permitirá ofrecer mejores servicios y llegar a nuevos usuarios.
- La cantidad de satélites lanzados se multiplicará por cinco en 2020-2029.
- Las consecuencias de la pandemia de COVID-19 son más visibles en otros aspectos que en el lanzamiento de satélites.
- Las agencias espaciales, están respaldando las misiones de pequeños satélites tanto en su lanzamiento individual como en constelaciones.

Sin duda, el impacto de la pandemia por COVID-19 en cualquier industria ha sido muy significativo. Sin embargo, este impacto variará según el tamaño y naturaleza de las partes interesadas. Si bien, muchos de los actores no alcanzarán a recaudar fondos para lanzar sus satélites o constelaciones, existen dos líderes en el mercado: SpaceX y Amazon, los cuales se han visto favorecidos por la pandemia. (Euroconsult - b, 2020).

---

<sup>59</sup> PyMES: Pequeñas y Medianas Empresas

<sup>60</sup> SDA Constellation Layers for the US DoD, Geely in China

Es cierto que, el sector comercial (con excepción de Starlink y Kuiper), disminuirá en comparación con años anteriores debido a la pandemia, sin embargo, el crecimiento de proyectos pequeños satélites para los gobiernos, se está acelerando debido a que las naciones han reconocido el potencial, los ahorros en costos y las aplicaciones de estos satélites (*Ibidem*). Tan sólo Asia, el cual es impulsado por su gobierno, contará con 1,600 pequeños satélites en la próxima década, lo que le permitirá competir con empresas de EEUU para ofrecer servicios de conectividad a países extranjeros. Cabe destacar que Asia está siendo apoyado por su gobierno, sin embargo, sus expectativas van más allá de un mercado regional (*Ibidem*).

## 4 CASO DE ESTUDIO: PROPUESTA TÉCNICA

### 4.1 Justificación de la propuesta

La presente propuesta (ver tabla 3) es resultado del Análisis Situacional de la Cadena de Valor del Sector Satelital en México y el Sector Satelital Internacional; así como el Análisis Estratégico realizado, considerando la situación que actualmente se vive ante la pandemia por el COVID-19.

**Tabla 3. Justificación de la propuesta. Fuente: elaboración propia.**

	Descripción	Justificación
<b>Tipo</b>	Constelación	A pesar del impacto de la pandemia por COVID- 19, este mercado está en crecimiento; los siguientes 9 años son clave para incursionar en él. Una constelación permitirá “ofrecer mejores servicios y llegar a nuevos usuarios”, abarcando más allá de un mercado regional. (Euroconsult - b, 2020).
<b>Número de Satélites</b>	6	Son los mínimos necesarios para cumplir con los requisitos de la misión (Aragón, 2015). En el apartado 4.3.3 de esta tesis se describe el diseño de la constelación.
<b>Tipo de órbita</b>	LEO ( <i>Low Earth Orbit</i> )	“Como norma general, los nanosatélites se lanzan en órbitas bajas circulares (400 – 650 Km de altura) y viajan a unos 8 km/s. A esa altura y velocidad, tardan en dar una vuelta a la Tierra unos 90 minutos para completar un total de entre 14 a 16 órbitas por día. Este tipo de órbita baja es ideal para los nanosatélites. Al orbitar más cerca de la Tierra, no sólo tienen condiciones óptimas para observación terrestre o comunicaciones, sino que están más protegidos de la radiación solar y cósmica.” (Alén Space, 2020).
<b>Inclinación</b>	Polar	“Normalmente los nanosatélites describen una órbita polar, es decir, corren en el sentido de los meridianos terrestres. Cuando finaliza el periodo de operación de un nanosatélite, este vuelve a la atmósfera y se desintegra” (Alén Space, 2020).
<b>Masa de cada satélite</b>	7 kg (nanosatélite)	Los nanosatélites son pequeños satélites de entre 1 y 10 kg de masa, cuya vida útil es de 2 a 4 años y su costo es de aproximadamente 589 mil USD (incluye gastos de integración y lanzamiento). (Alén Space, 2020).

<b>Aplicación</b>	Observación de la Tierra	Al ocupar el tercer lugar en ingresos por ventas comerciales con respecto a satélites de diversos tamaños, así como en segundo lugar ingresos por ventas comerciales con respecto al mercado de pequeños satélites. Sin dejar de lado a la Industria y a pesar de las tendencias internacionales, en nuestro país la Academia y el Gobierno, hacen uso de este tipo de satélites. Como primer paso para retomar el desarrollo de las CTE, se propone esta aplicación.
<b>Misión</b>	Captación de imágenes del Territorio Nacional y otras zonas de cobertura, para agricultura, minería, industria, seguridad ciudadana, medio ambiente y clima	Instituciones académicas y de gobierno, requieren imágenes del Territorio Nacional. Como se mencionó en el apartado 2.4.1 de esta tesis, principalmente el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP a través de su Estación de Recepción de México, ERMEX; recopilan mediante la Constelación SPOT, imágenes del Territorio Nacional poniéndolas a disposición para diversas dependencias gubernamentales, universidades y centros de investigación públicos. El objetivo es, además, contar con una vinculación internacional para aquellas zonas en donde tiene cobertura esta constelación. En esta propuesta técnica se indican 10 ciudades del mundo más pobladas, en donde esta constelación tiene un acceso satelital.
<b>Costo aproximado de la Misión</b>	14.7 MDD	<p>En la introducción de esta tesis, se indicó que: “Centenario, Morelos III y Bicentenario costaron al Gobierno Mexicano alrededor de 2,000 MDD. Si bien, eran satélites grandes fabricados por Boeing Satellite Systems International, Inc.;, uno de ellos (Centenario) tuvo una falla y se desintegró horas después de su lanzamiento”. De acuerdo con Alén Space (2020) “un fallo en un satélite de grandes dimensiones puede poner en riesgo la propia misión”, sin embargo, “si se pierde o falla una unidad de nanosatélite, se repone rápidamente a un coste y en un tiempo asumibles.”</p> <p>Riesgos siempre habrán, sin embargo, “el lanzamiento de un nanosatélite como parte de una constelación permitirá repartir en partes pequeñas el riesgo que conlleva toda misión espacial” (<i>Ibidem</i>).</p> <p>Es importante indicar que, “el bajo coste de los nanosatélites no implica que sean menos fiables (...) se puede alcanzar un 100% de éxito en las misiones, dejando al azar, como ocurre en los satélites convencionales, únicamente aquello que no podemos controlar: fallo en el lanzamiento, una tormenta solar, o el impacto de un meteoro o trozo de basura espacial” (<i>Ibidem</i>).</p>

## 4.2 Generalidades de un satélite artificial

Un satélite artificial puede tener diversos tamaños y clasificarse según su masa, misión, su tipo de órbita o la altitud a la que se lanzará. En la tabla 4 se puede observar la clasificación de un satélite.

**Tabla 4. Clasificación de un satélite. Fuente: elaboración propia.**

Tipo de Órbita <sup>61</sup>	Altitud (Km)	Misión	Tamaño (masa <sup>62</sup> )
<b>LEO</b> ( <i>Low Earth Orbit</i> )	300-1,500	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observación de la tierra (meteorológicos, cartografía)</li> <li>Comunicaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grandes</li> <li>Medianos</li> <li>Pequeños</li> <li>Micro</li> <li>Nano</li> <li>Pico</li> <li>Femto</li> </ul>
<b>MEO</b> ( <i>Medium Earth Orbit</i> )	1,500- 35,790	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunicaciones</li> <li>Navegación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grandes</li> <li>Medianos</li> <li>Pequeños</li> </ul>
<b>GEO</b> ( <i>Geostationary Orbit</i> )	35,790	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunicaciones</li> </ul>	
<b>HEO</b> ( <i>High Earth Orbit</i> )	>35,790	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunicaciones</li> <li>Exploración científica (astronomía)</li> </ul>	

Es importante destacar que, el costo de un satélite dependerá de su masa, la tabla 5 muestra una aproximación de los costos de una misión satelital de acuerdo con su masa, misma que también se relaciona con su vida útil.

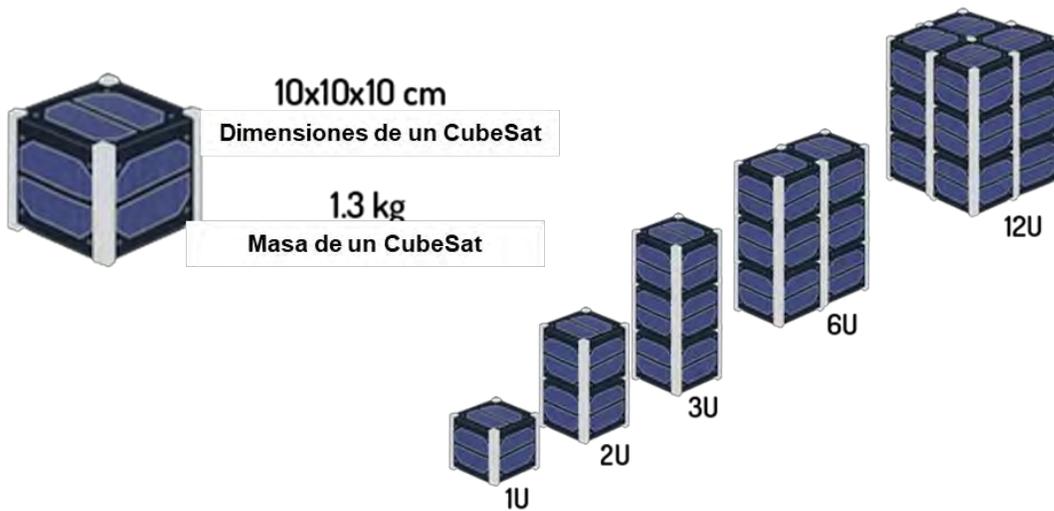
En la presente propuesta, la constelación planteada está conformada por 6 CubeSat 3U. Un CubeSat es un nanosatélite con estructura en forma de cubo que mide 10cm<sup>3</sup> y tiene una masa de aproximadamente 1 kg a 1.3 kg. Esta unidad es conocida como 1U. Sin embargo, actualmente se han desarrollado nuevas configuraciones como lo muestra la figura 23. (Alén Space, 2020).

<sup>61</sup> Las órbitas pueden ser circulares o elípticas, a excepción de las GEO que únicamente son circulares. De igual manera, las órbitas pueden tener una inclinación (ángulo entre el plano ecuatorial y el plano de la órbita del satélite) polar (cercana a 90°) o ecuatorial (cercana a 0°).

<sup>62</sup> Ver detalles de masa en Tabla 4

**Tabla 5. Costo y vida útil de un satélite de acuerdo con su masa.**  
**Fuente: adaptado de UAT-Aeroespacial (2016) y Alén Space (2020).**

Tipo	Masa (Kg)	Vida Útil	Costo de una misión (USD) (incluye gastos de integración y lanzamiento)
Grandes satélites	> 1000	10-15 años	1500 M
Medianos satélites	500 - 1000	7-10 años	500 M
Pequeños satélites	100 - 500	7-10 años	100 M
Micro satélites	10 - 100	2-5 años	5-10 M
Nano satélites	1 - 10	4 meses – 1.5 años	150-300 mil
Pico satélites	0.1 - 1	4 meses – 1 año	15-100 mil
Femto satélites	< 0.1	Unos días – 3 meses	10-100 mil



**Figura 22. Dimensiones y diferentes configuraciones de un CubeSat.**  
**Fuente: adaptado de Alén Space (2020).**

Cabe destacar que un satélite artificial generalmente está configurado con los siguientes subsistemas (Aparicio, M. (2015), (2017); UAT-Aeroespacial (2016); Santillán, S. et. al (2014); SMAD (2005)):

- Telecomunicaciones: comunica, transmite y recibe datos entre el satélite y la Estación Terrena; a través de la instrumentación de radiofrecuencia<sup>63</sup>.
- Telemetría: realiza reconfiguraciones y reprogramaciones en el software, en caso de presentarse alguna falla; así como monitorea a través de sensores, el estado de los parámetros físicos<sup>64</sup> del satélite.
- Regulación Térmica: mantiene dentro de rangos de temperatura específicos a los demás subsistemas y estructura del satélite.
- Orientación y Estabilización: controla y determina la posición del satélite.
- Navegación: a través de un sistema de posicionamiento global, indica la posición del satélite a lo largo de su trayectoria orbital.
- Computadora a bordo: adquiere, almacena, procesa y envía la información a la computadora central; así como controla y verifica que la carga útil funcione correctamente.
- Estructural: es la configuración estructural del satélite.
- Potencia: genera, almacena, regular y distribuye la energía eléctrica entre los demás subsistemas.
- Carga útil: instrumental <sup>65</sup>que el satélite necesita para realizar su misión.

La figura 24 es un diagrama explosivo, en donde se pueden observar algunos de los subsistemas que tiene un CubeSat.

Una vez que un satélite es desarrollado, probado y está listo para su operación, se deberá poner en órbita. Hoy en día existen diversas opciones para el lanzamiento de satélites, en el caso de ser pequeños, se puede optar por el uso compartido de cohetes de agencias gubernamentales, lanzaderas de empresas privadas o con un enlace logístico mediante la Estación Espacial Internacional (ISS). También, actualmente existen “microlanzadores” dedicados exclusivamente a la puesta en órbita de pequeños satélites, los cuales brindan bajos costos en los lanzamientos (Alén Space, 2020).

---

<sup>63</sup> Antenas transmisoras y receptoras, moduladores, demoduladores, codificadores y decodificadores

<sup>64</sup> Temperatura, voltajes, corrientes, modos de operación de los subsistemas

<sup>65</sup> Antenas, cámaras, espectrómetros, radares, etc.

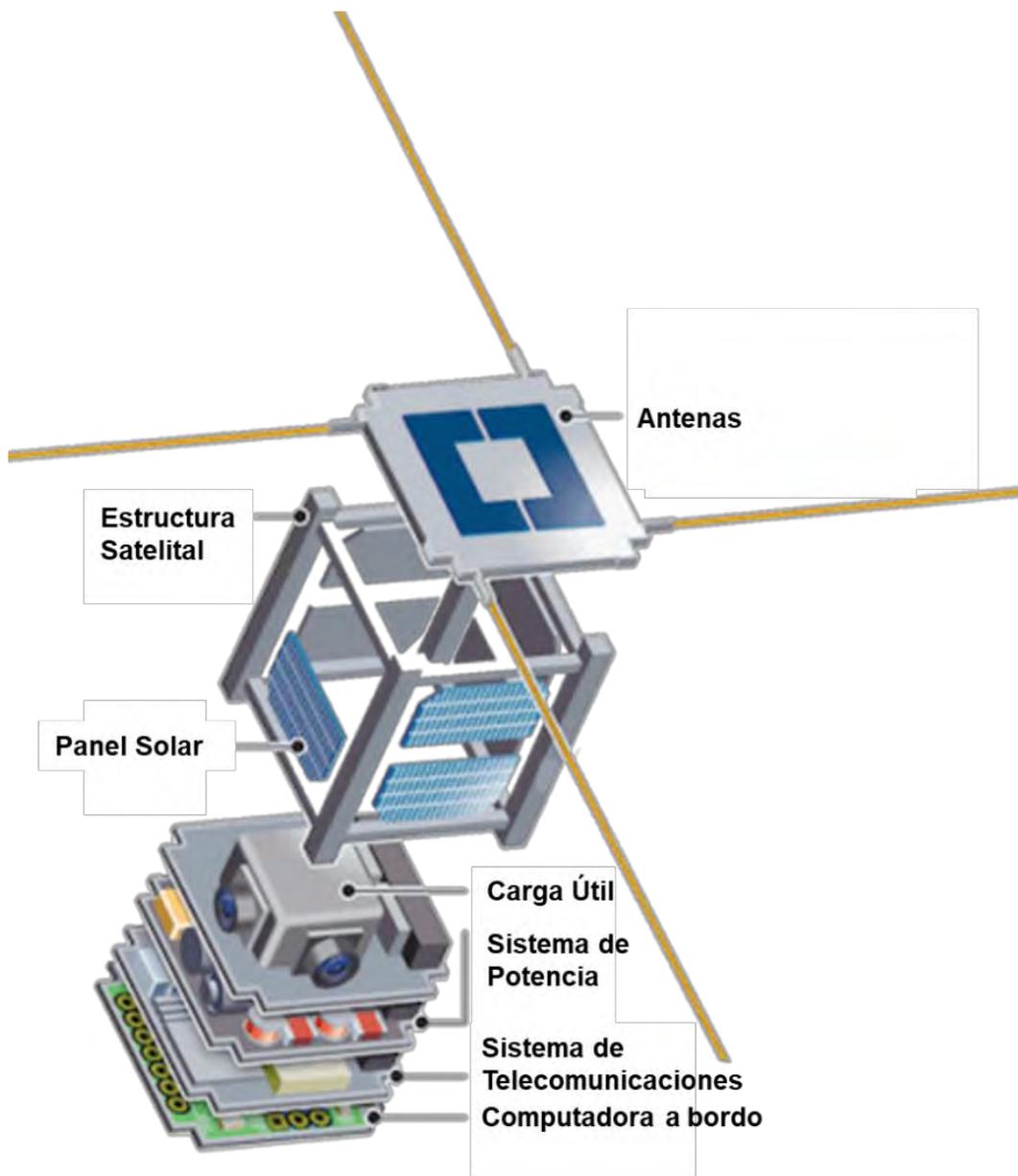


Figura 23. Diagrama explosivo de un CubeSat. Fuente: adaptado de Alén Space (2020).

Para diseñar una misión satelital, se deben definir los **elementos orbitales** que permitirán cumplir con la misión y requisitos operacionales del satélite. Estos elementos se clasifican en función del: 1) tamaño y forma de la órbita, 2) orientación de la órbita y 3) ubicación del satélite. Las tablas 6, 7 y 8, indican la descripción de los elementos respectivamente (STK, 2020a).

**Tabla 6. Elementos orbitales que definen el tamaño y forma de la órbita.**

**Fuente: STK (2020a).**

Elemento par	Descripción
Semieje mayor / Excentricidad	El eje semi mayor es la mitad de la longitud del eje mayor (más largo) de la elipse orbital. La excentricidad describe la forma de la elipse (un número real $>= 0$ y $<1$ , donde $0 =$ una órbita circular).
Radio Apogeo / Radio Perigeo	Medición desde el centro de la Tierra hasta los puntos de radio máximo y mínimo en la órbita.
Altitud Apogeo / Altitud Perigeo	Medición desde la "superficie" de la Tierra hasta los puntos de radio máximo y mínimo en la órbita. Para estos valores, la superficie de la Tierra se modela como una esfera cuyo radio es igual al radio ecuatorial de la Tierra.
Periodo / Excentricidad	Período es la duración de una órbita, basada en el supuesto movimiento de dos cuerpos. La excentricidad se definió previamente.
Movimiento promedio (revoluciones / día) / Excentricidad	El movimiento promedio (revoluciones / día) define el número de órbitas por día (86400 segundos / período), según el movimiento de dos cuerpos. La excentricidad se definió previamente.

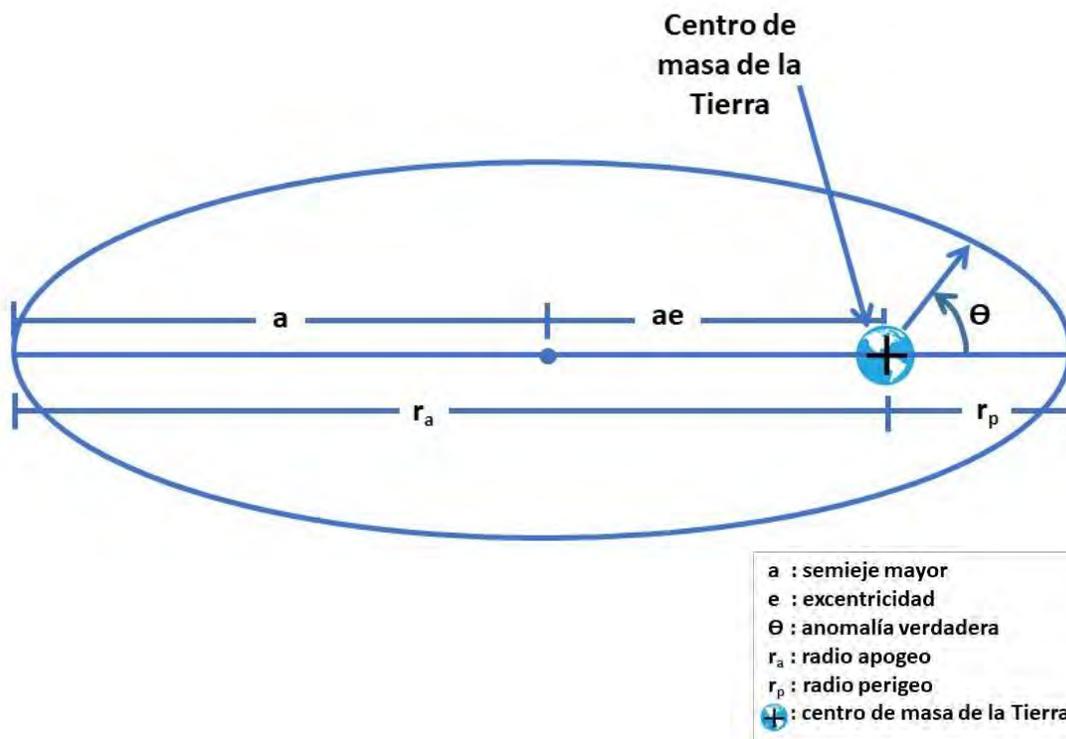
**Tabla 7. Parámetros que definen la orientación orbital. Fuente: STK (2020a).**

Parámetro	Descripción
Inclinación ( $i$ )	Es el ángulo formado entre el vector de momento angular (perpendicular al plano de la órbita) y el eje Z inercial.
Argumento del Perigeo ( $\omega$ )	El ángulo formado entre el nodo ascendente y el vector de excentricidad (punto más bajo de la órbita) medido en la dirección del movimiento del satélite y en el plano de la órbita. El vector de excentricidad apunta desde el centro de la Tierra al perigeo con una magnitud igual a la excentricidad de la órbita. Para una órbita circular, el argumento del perigeo se define como cero (perigeo en el nodo ascendente).
Ascensión Recta del Nodo Ascendente (RAAN) ( $\Omega$ )	La Ascensión Recta del Nodo Ascendente ( $\Omega$ ), corresponde al ángulo que se forma entre el eje "x" y el nodo ascendente y siempre se mide en dirección este respecto de la dirección del eje "x" (el eje x se dirige hacia el primer punto de Aries). En el caso de una órbita ecuatorial, el nodo ascendente se define para ser dirigido a lo largo del eje positivo x del marco de referencia, por lo tanto es $= 0$ .

**Tabla 8. Parámetros que definen la ubicación satelital. Fuente: STK (2020a).**

Parámetro	Descripción
Anomalía verdadera	Es el ángulo desde el vector de excentricidad hasta el vector de posición del satélite, medido en la dirección del movimiento del satélite y en el plano de la órbita.
Anomalía media	Es el ángulo que se forma entre el vector de excentricidad y el vector de posición donde estaría el satélite si siempre se estuviera moviéndose a su velocidad angular promedio.
Anomalía excéntrica	Ángulo con un origen en el centro de la elipse, desde la dirección del perigeo hasta un punto en un círculo, desde el cual una línea perpendicular al semi eje mayor, intersecta la posición del satélite en la elipse.
Argumento de la latitud	La suma de la anomalía verdadera y el argumento del perigeo.
Tiempo pasado nodo ascendente	El tiempo transcurrido desde el último cruce de nodo ascendente, basado en el supuesto movimiento de dos cuerpos.
Tiempo pasado perigeo	El tiempo transcurrido desde el último paso del perigeo, basado en el supuesto movimiento de dos cuerpos.

La figura 24 muestra los elementos orbitales:



**Figura 24. Elementos orbitales clásicos. Fuente: adaptado de STK (2020a).**

La figura 25 muestra las relaciones entre las coordenadas clásicas:

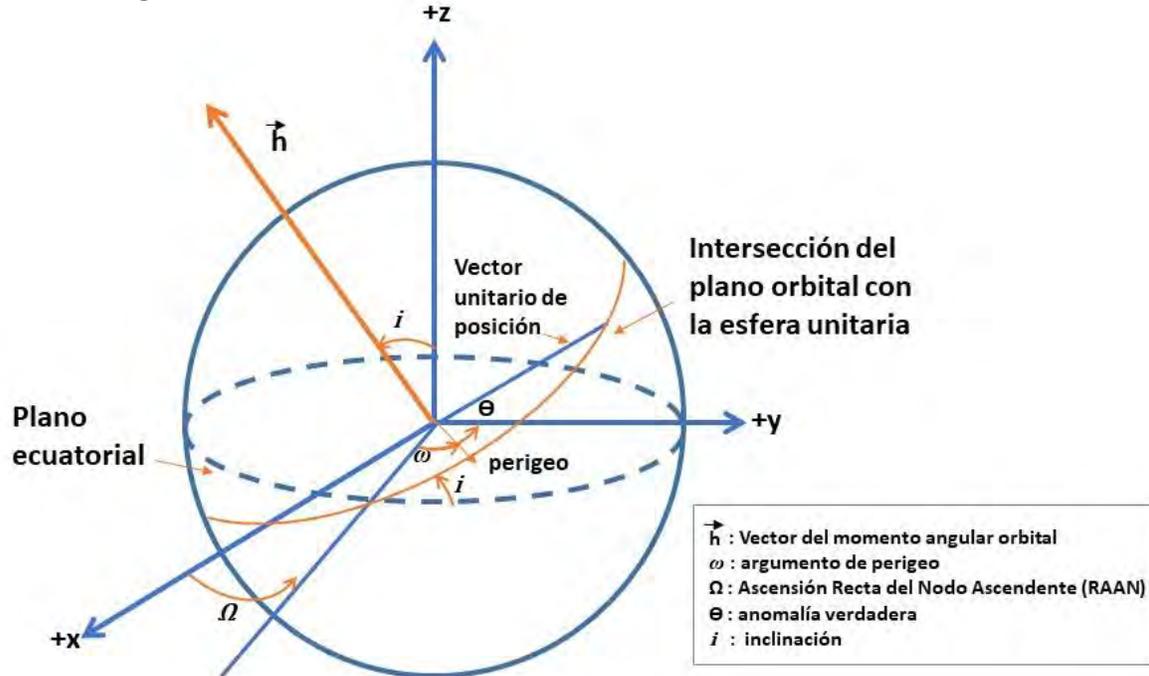


Figura 25. Relación entre las coordenadas clásicas. Fuente: adaptado de STK (2020a).

Para diseñar una constelación satelital con órbita circular, como es el caso de esta propuesta, se suele emplear el método Walker. Existen dos variantes principales de las constelaciones de Walker: las constelaciones de Walker “Delta” y las constelaciones de Walker “Estrella”. Las dos variantes difieren en la distribución de los nodos ascendentes entre los planos de la constelación. Para un tipo de constelación Delta de Walker, los nodos ascendentes de los planos se distribuyen en el rango completo de 360 grados, mientras que en la configuración Estrella, los nodos ascendentes se distribuyen en un rango de 180 grados. Las constelaciones de Walker a menudo se identifican usando la siguiente notación (STK , 2020b):

$$i:t/p/f$$

Ec. 1

donde  $i$  es la inclinación de los planos orbitales,  $t$  es el número total de satélites en la constelación,  $p$  es el número de planos y  $f$  es un espacio entre los planos. La posición relativa entre dos satélites que se encuentran en planos adyacentes está determinada por el parámetro de fase ( $f$ ) donde  $f$  puede ser integrado desde de 0 hasta  $p-1$ . El valor de  $f$  representa el número de ranuras de medida angular ( $360 \text{ grados} / t$ ) por el cual el satélite que se encuentra más en el

oriente es seguido por el satélite que está más al occidente (*Ibidem*). Este Método está integrado en la versión Pro del simulador orbital STK<sup>66</sup>, en el cual se deben ingresar los siguientes datos (*Ibidem*):

- parámetros orbitales de cada satélite
- tipo de configuración (delta, estrella o personalizada),
- inclinación entre planos ( $i$ ),
- número de satélites en la constelación ( $t$ ),
- número de planos ( $p$ ),
- espacio entre planos ( $\hat{r}$ ).

Debido a la carencia de una versión Pro, se ingresarán los valores de los parámetros orbitales de manera convencional. En la sección 4.3.2 se describen.

### 4.3 Características Técnicas de la Misión Propuesta

#### 4.3.1 Descripción y Requisitos de la Misión

El objetivo de la misión es llevar a cabo el monitoreo satelital del territorio nacional y las 10 ciudades en el mundo con mayor población (ver Fig. 26), a través de estaciones de recepción en donde se recopilen imágenes captadas por la constelación satelital propuesta: “CONUNAM”.

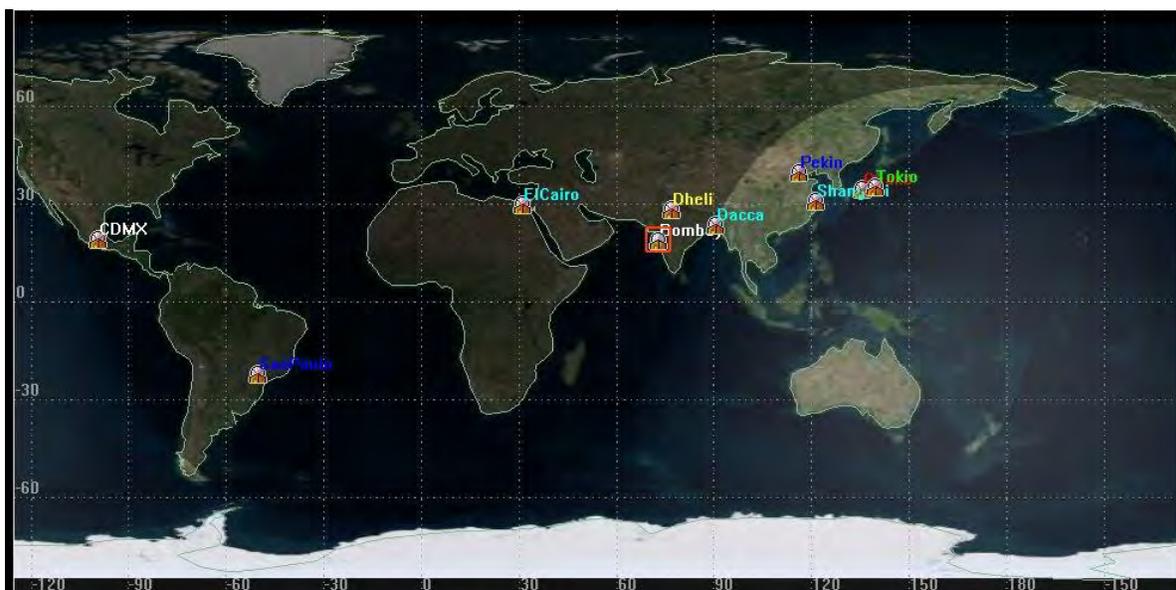


Figura 26. Ubicación de las estaciones de recepción propuestas. Obtenido de STK (2020).

<sup>66</sup> STK: Systems Tool Kit (STK) of Analytical Graphics Inc.

Se ha diseñado y simulado la constelación “CONUNAM”, en donde “se requieren de 6 nanosatélites colocados en órbita baja, garantizando su pase diario en cada región. Para obtener imágenes de un mismo lugar, el monitoreo debe realizarse de modo continuo.” (Aragón, 2015; AEM, 2019).

Además de que la órbita LEO permitirá obtener imágenes con mejor resolución, la carga útil de los nanosatélites “debe contar con una resolución espacial que brinde un panorama más amplio y definido de cada región, ofreciendo opciones visuales y espectrales tanto para áreas pequeñas como grandes extensiones de territorio (...) La carga útil debe brindar imágenes con resoluciones en pancromático y multiespectral (azul, verde, rojo e infrarrojo cercano); con el fin de poder generar imágenes en color verdadero.” (SAGARPA-SIAP, 2017).

Se eligieron ciudades con mayor población<sup>67</sup>, pues las aplicaciones del monitoreo satelital de “CONUNAM” abarcarán diversas áreas de impacto social, comercial, científico y gubernamental como la cartografía, demografía, agricultura, seguridad nacional, monitoreo de desastres naturales, etc.

Se estima que la Constelación “CONUNAM” tenga una vida útil de 4 años, posterior a ello, cada satélite se desintegrará en la atmósfera; evitando la generación de basura espacial.

Al ser un proyecto nacional, el objetivo es establecer una vinculación internacional con estos países.

#### **4.3.2 Diseño y Simulación de la Constelación Satelital “CONUNAM”**

Los **parámetros orbitales** de la Misión “CONUNAM” son:

- Órbita: heliosíncrona. Se asume circular con una rotación del nodo (RAAN) de 0.98 *grados/día* para seguir el movimiento medio del Sol, esta órbita da una mayor cobertura de la Tierra y permite monitorizar cualquier punto de interés (Aragón, 2015).
- Altitud: 600 km. Con esta altura se reducen los costos que se supondría al usar cinco o cuatro satélites a una mayor altitud. (Ibídem)
- Excentricidad: 0
- RAAN ( $\Omega$ )  $J_2=0.98$  *grados/día*

---

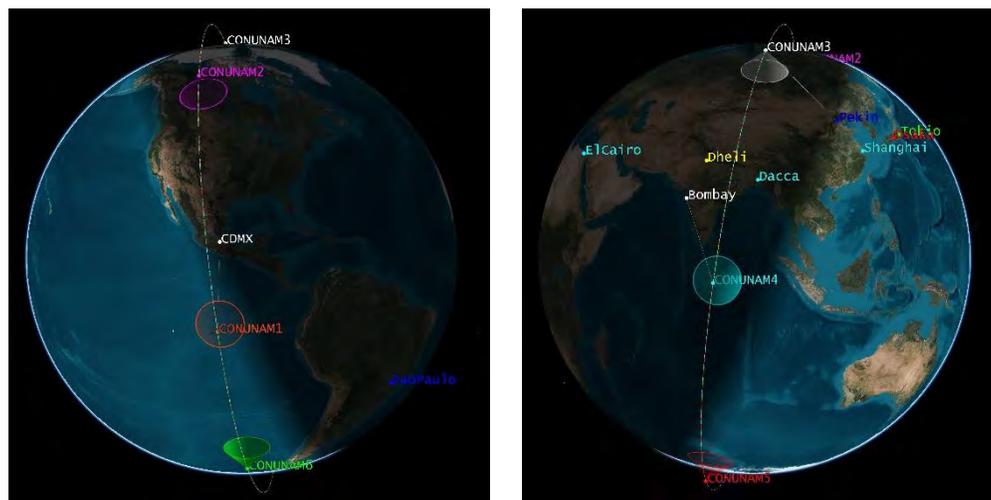
<sup>67</sup> Bombay, Ciudad de México, Dacca, Dheli, El Cairo, Osaka, Pekín, Sao Paulo, Shanghái y Tokio.

Considerando los valores anteriores, se llevaron a cabo cuatro simulaciones en STK con diferentes configuraciones de planos orbitales, en las cuales se establecieron diferentes inclinaciones entre planos ( $i$ ) y diferentes valores de “anomalías verdaderas ( $\Theta$ )” para un día (01 de enero de 2020 al 02 de enero de 2020). La tabla 9 concentra estos parámetros:

**Tabla 9. Configuraciones de planos orbitales propuestos.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Satélite	1 plano orbital		2 planos orbitales		3 planos orbitales		6 planos orbitales	
	$i$	$\Theta$	$i$	$\Theta$	$i$	$\Theta$	$i$	$\Theta$
CONUNAM 1	98°	0°	62°	0°	62°	0°	62°	0°
CONUNAM 2	98°	60°	62°	180°	62°	180°	72.4°	5°
CONUNAM 3	98°	120°	62°	120°	88°	45°	82.8°	10°
CONUNAM 4	98°	180°	114°	300°	88°	225°	93.2°	15°
CONUNAM 5	98°	240°	114°	240°	114°	90°	103.2°	20°
CONUNAM 6	98°	320°	114°	60°	114°	270°	114°	25°

Una vez ingresados los valores, los resultados se pueden visualizar en 3D (ver figuras 27-30).



**Figura 27. Simulación de la Constelación CONUNAM con un plano orbital. Obtenido de STK (2020).**

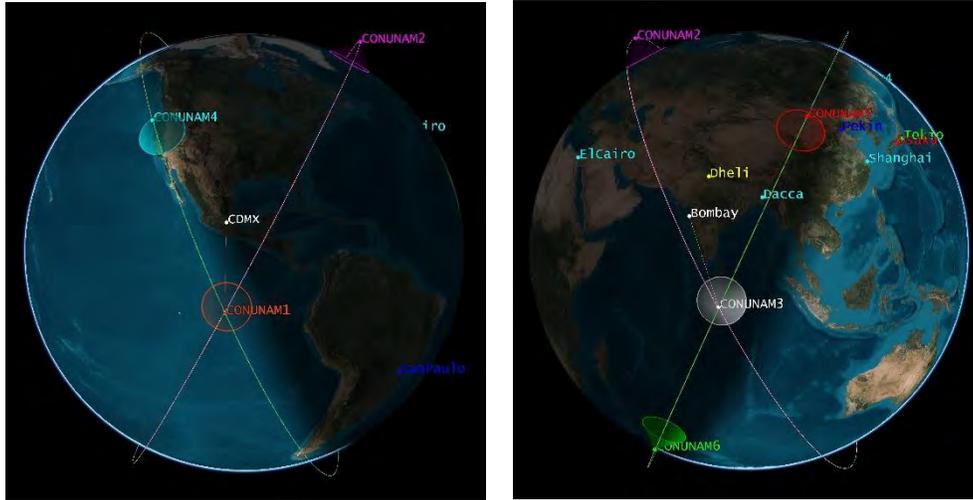


Figura 28. Simulación de la Constelación CONUNAM con dos planos orbitales. Obtenido de STK (2020).

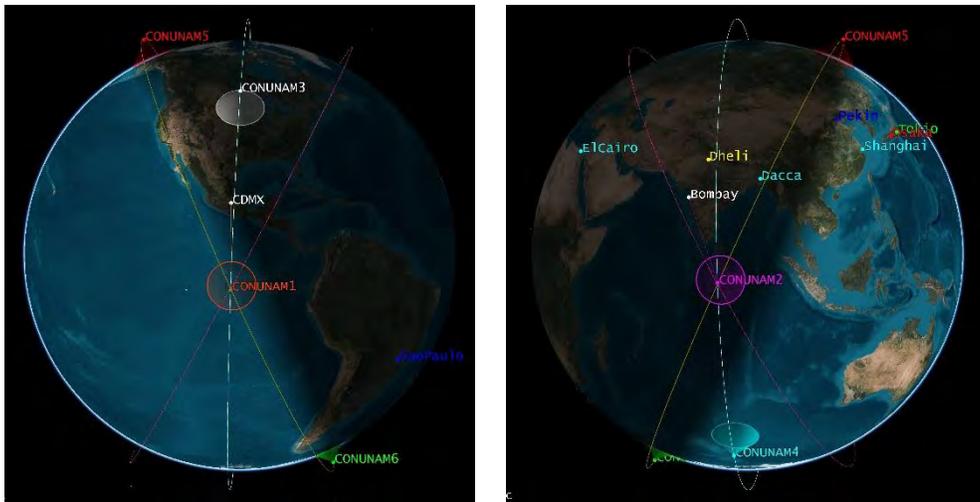


Figura 29. Simulación de la Constelación CONUNAM con tres planos orbitales. Obtenido de STK (2020).

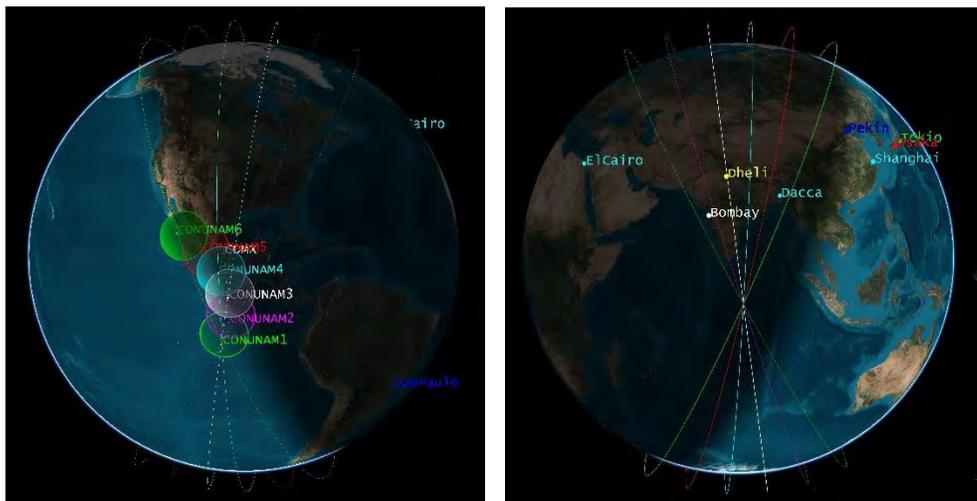
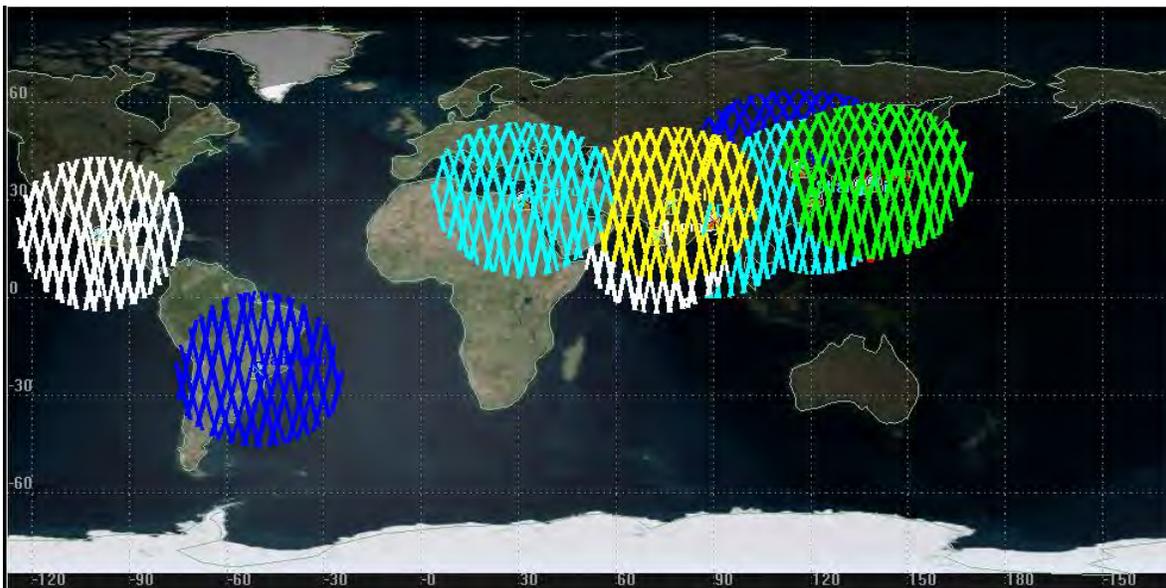
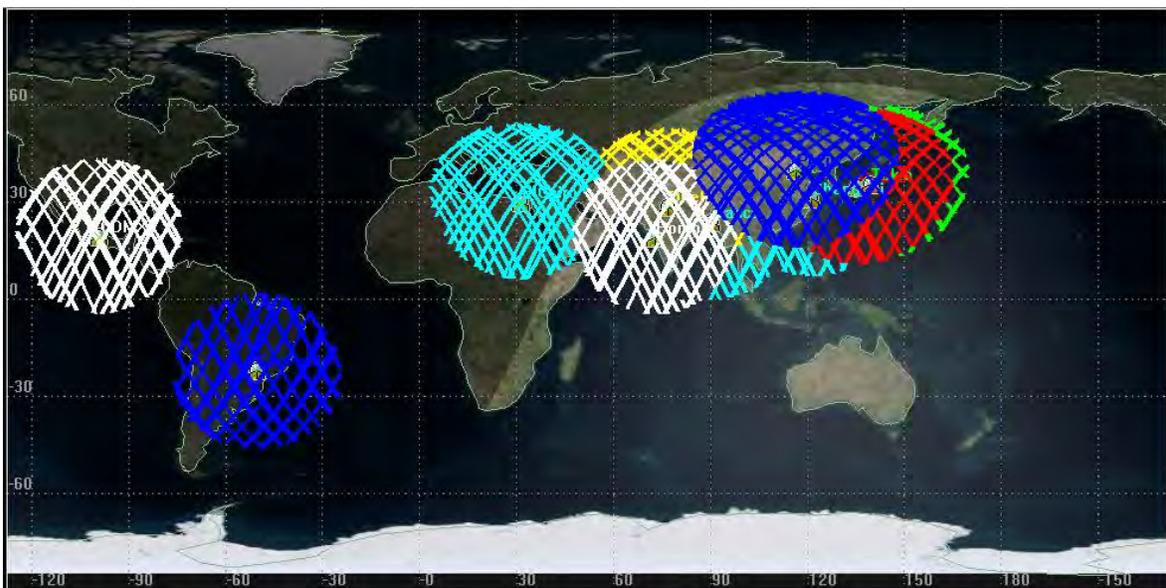


Figura 30. Simulación de la Constelación CONUNAM con seis planos orbitales. Obtenido de STK (2020).

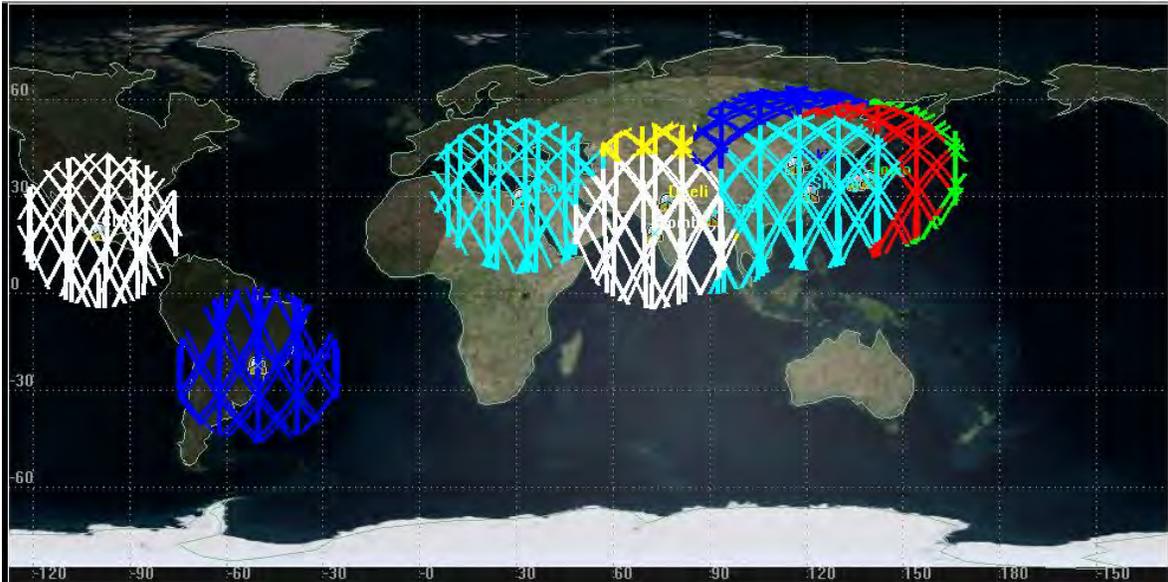
Cabe destacar que las cuatro simulaciones realizadas, cumplen el requisito de cubrir en un solo día todo el territorio nacional y las demás ciudades propuestas (ver figuras 31-34).



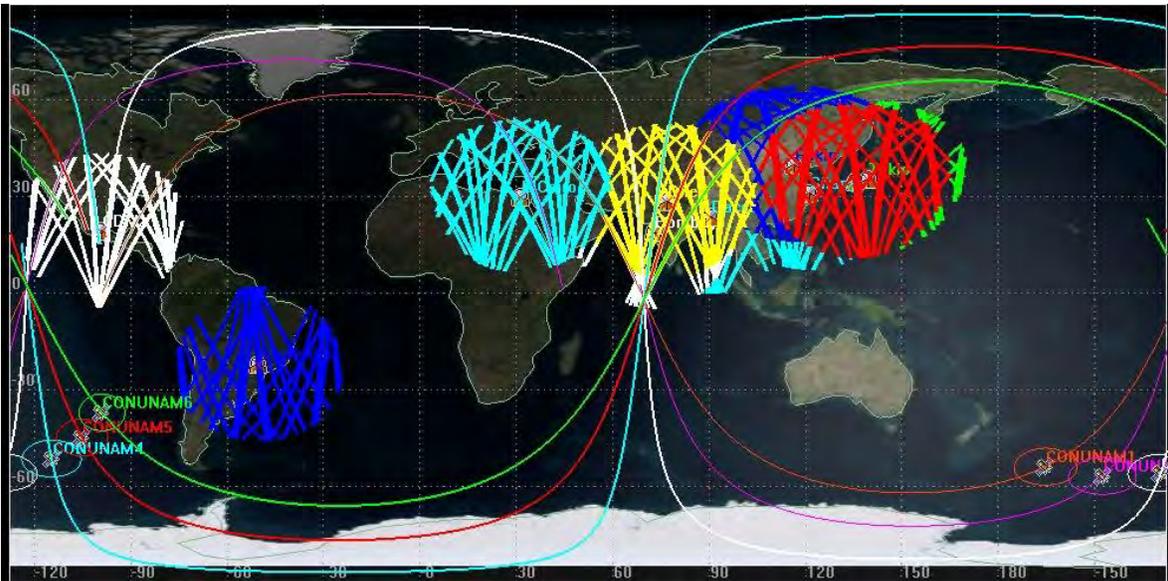
**Figura 31. Accesos satelitales a las estaciones de recepción (un plano orbital).**  
Fuente: Obtenido de STK (2020).



**Figura 32. Accesos satelitales a las estaciones de recepción (dos planos orbitales).**  
Fuente: Obtenido de STK (2020).



**Figura 33. Accesos satelitales a las estaciones de recepción (tres planos orbitales).**  
**Fuente: Obtenido de STK (2020).**



**Figura 34. Accesos satelitales a las estaciones de recepción (seis planos orbitales).**  
**Fuente: Obtenido de STK (2020).**

Conocer qué configuración es la indicada y que a su vez, satisface los requisitos de la misión satelital; sirve de apoyo para la toma de decisiones, pues brinda un panorama más certero para saber qué beneficios y a qué retos nos enfrentaremos ante el diseño de los subsistemas satelitales, así como la manera en que se llevarán a cabo las siguientes etapas de la misión, descritas en el apartado 2.2 de esta tesis.

Para determinar cuál es la mejor configuración, STK brinda los accesos satelitales en cada estación de recepción seleccionada, describiendo tanto su duración como su hora y fecha de pase. Las tablas 10 - 13, muestran los resultados de los accesos satelitales en cada estación de recepción por cada plano orbital propuesto.

**Tabla 10. Accesos satelitales en cada estación de recepción (un plano orbital).**  
Fuente: elaboración propia.

Estación de recepción	No. de pases (accesos)	Duración promedio por pase (segundos)	Duración total (segundos)
Bombay	27	562.023	15174.610
Ciudad de México	27	579.728	15652.668
Dacca	26	605.744	15749.355
Dheli	28	595.469	16673.142
El Cairo	28	607.049	16997.368
Osaka	30	606.965	18208.948
Pekín	33	599.757	19791.989
Sao Paulo	26	606.128	15759.334
Shanghái	28	616.975	17275.294
Tokio	30	609.865	18295.949
<b>Total (01 de enero de 2020)</b>	<b>283</b>	<b>589.970</b>	<b>169578.657</b>

**Tabla 11. Accesos satelitales en cada estación de recepción (dos planos orbitales).**  
Fuente: elaboración propia.

Estación de recepción	No. de pases (accesos)	Duración promedio por pase (segundos)	Duración total (segundos)
Bombay	30	578.380	17351.413
Ciudad de México	32	587.736	17632.075
Dacca	31	595.211	18451.536
Dheli	34	601.994	19865.797
El Cairo	35	604.547	20554.595
Osaka	36	600.408	21614.685
Pekín	46	566.191	26044.780
Sao Paulo	29	614.372	17816.788
Shanghái	34	601.464	20449.761
Tokio	37	606.414	22437.313
<b>Total (01 de enero de 2020)</b>	<b>344</b>	<b>595.671</b>	<b>202218.743</b>

**Tabla 12. Accesos satelitales en cada estación de recepción (tres planos orbitales).**  
Fuente: elaboración propia.

Estación de recepción	No. de pases (accesos)	Duración promedio por pase (segundos)	Duración total (segundos)
Bombay	31	551.655	17101.316
Ciudad de México	27	605.402	16345.867
Dacca	28	617.245	17282.866
Dheli	31	599.951	18598.486
El Cairo	32	605.129	19364.118
Osaka	34	591.302	20104.258
Pekín	40	603.032	24121.277
Sao Paulo	29	585.871	16990.260
Shanghái	32	600.040	19201.280
Tokio	35	608.770	21306.946
<b>Total (01 de enero de 2020)</b>	<b>319</b>	<b>596.839</b>	<b>190416.674</b>

**Tabla 13. Accesos satelitales en cada estación de recepción (seis planos orbitales).**  
Fuente: elaboración propia.

Estación de recepción	No. de pases (accesos)	Duración promedio por pase (segundos)	Duración total (segundos)
Bombay	29	578.953	16789.650
Ciudad de México	26	564.412	14674.722
Dacca	27	623.439	16832.856
Dheli	31	609.053	18880.642
El Cairo	31	600.448	18613.901
Osaka	32	614.220	19655.045
Pekín	40	571.579	22863.159
Sao Paulo	26	619.154	16098.006
Shanghái	31	598.569	18555.637
Tokio	32	617.937	19773.994
<b>Total (01 de enero de 2020)</b>	<b>305</b>	<b>599.776</b>	<b>182737.612</b>

De acuerdo con la tabla 10, se concluye que para esta propuesta técnica la mejor configuración es contar con dos planos orbitales, pues es la configuración que brinda más accesos a las estaciones de recepción y con una considerable duración; así mismo, el hecho de que haya un alto número de pases en otros países, abrirá mayores posibilidades de vinculación o venta de este servicio.

### 4.3.3 Costo-beneficio de la Constelación Satelital “CONUNAM”

Como se mencionó en la Tabla 3, el desarrollar y poner en órbita un nanosatélite o constelación de nanosatélites, resulta ser algo económico, flexible y de gran oportunidad para entidades emergentes que quieren incursionar en el área espacial.

El hecho de ser satélites pequeños no significa que no brinden resultados de calidad, como si fuese un satélite grande. Se ha mencionado a lo largo de esta tesis que, gracias a los avances tecnológicos, se ha logrado miniaturizar los componentes de cada subsistema. Al momento del lanzamiento, los costos se reducen por el volumen y masa pequeños.

Por lo anterior, una misión de un nanosatélite tiene un costo aproximado de 14.7 MDD incluido su lanzamiento y puesta en órbita. Si se habla de una constelación, como es el presente caso donde hay 6 satélites, el costo aproximado será de 88 MDD, lo cual es realmente muy bajo con relación a misiones de satélites grandes; sin embargo, el beneficio es muy alto.

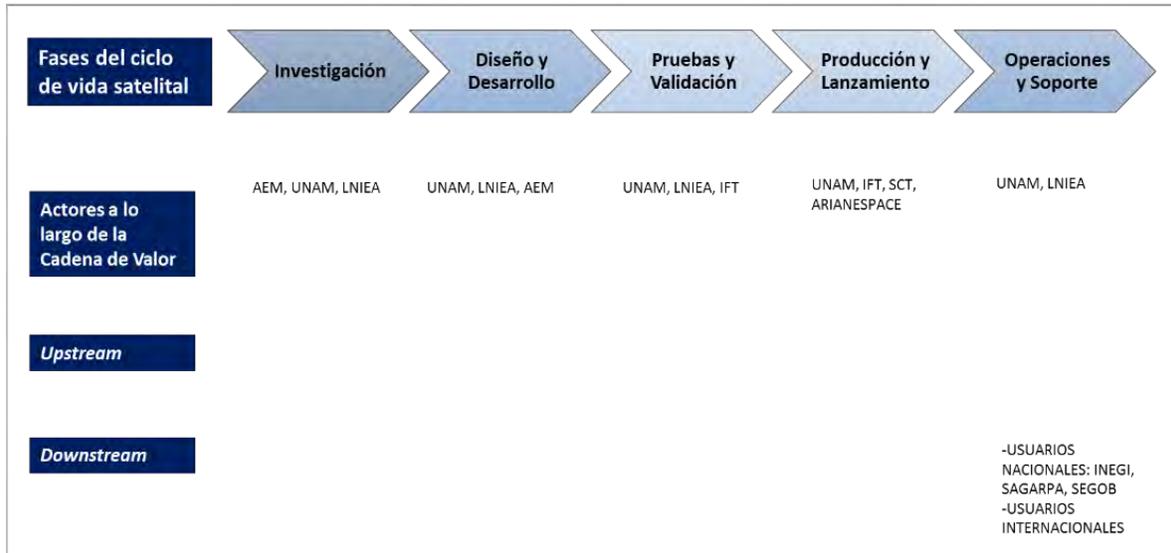
Como ejemplo se expondrá un caso real, pero manteniendo la confidencialidad de la fuente, en donde en 2019 México pagaba una licencia anual de monitoreo satelital, que incluía mantenimiento y servicio de telemetría con opción a compartir ilimitadamente los datos obtenidos; por una cantidad de 4 MDD, sin contar otros gastos. Cabe destacar que, para recibir este servicio, México tuvo que pagar el costo de la Antena receptora por la cantidad de 3 MDD. (Fuente confidencial, 2019).

Así como hay ventajas de contratar un servicio, existen muchas más desventajas, como la urgencia para atender, por ejemplo, algún desastre natural, en la cual el servicio satelital no es inmediato. Cabe destacar que, con la simulación realizada, se puede observar claramente que México al ser el anfitrión, sería totalmente beneficiado y se podrían atender este tipo de emergencias. De igual manera, las ciudades más pobladas del mundo también se beneficiarían de este servicio.

Para una vinculación internacional, será importante dar a conocer estos beneficios e incluso, de esta misma vinculación, se pueden obtener ingresos que permitan recuperar la inversión y entrar a competir en este mercado, dejando de lado la dependencia tecnológica que nos ha caracterizado tener.

#### 4.4 Propuesta técnica: su Ciclo de Vida y Cadena de Valor

La figura 35 muestra, por un lado, las fases del ciclo de vida satelital, y por otro; los actores de la Cadena de Valor que se sugiere pueden intervenir en esta propuesta técnica.



**Figura 35. Actores de la cadena de valor, dentro del ciclo de vida de la misión satelital propuesta. Fuente: elaboración propia.**

Como se puede observar, existen los recursos humanos, la infraestructura y aquellos usuarios que pueden beneficiarse del servicio de la Constelación “CONUNAM”. Al ser un sector volátil, estos actores pueden en un futuro cercano o medio, participar o no; sin embargo, como se ha visto a lo largo de esta tesis, existen numerosas entidades educativas, dependencias de gobierno, sector privado, y actores a lo largo de la Cadena de Valor, que podrían intervenir e incluso, si las necesidades cambian, desarrollar una nueva misión satelital.

Lo importante es retornar a la carrera espacial mexicana y generar conciencia en nuestros representantes políticos, que esta incursión traerá múltiples beneficios a la Nación, ejemplos de ello: la independencia tecnológica y la creación de fuentes de trabajo; aplicando siempre un “desarrollo sustentable que permita el crecimiento económico con un desarrollo social protegiendo el ambiente (...) aplicando normas y regulaciones adecuadas que permitan que la innovación y el desarrollo tecnológico espacial en México incluyan principios de sustentabilidad que hagan a la industria espacial más competitiva” (Simón, N. & Rueda, I., 2016).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Este proyecto de investigación permitió describir el sector satelital, plasmando quiénes participan en él, cuáles son las capacidades, fortalezas y áreas de oportunidad que existen a nivel nacional; qué impacto tienen acontecimientos inesperados como la pandemia del COVID-19, a qué nos enfrentaremos en la siguiente década, cuáles son las tendencias internacionales que puedan influir en la industria nacional y qué tipo de proyectos se pueden realizar con las capacidades que tenemos.

Por un lado, gran parte del análisis del sector satelital internacional se basó en resultados emitidos por Euroconsult. Es importante indicar que estos resultados, son producto de más de 30 años de seguimiento en la Cadena de Valor Satelital, así como de miles de entrevistas que esta Consultora ha realizado para obtener información del sector y el acceso a una base de datos de décadas pasadas, que han permitido realizar estimaciones futuras. Por esta razón, se optó como fuente principal en esta investigación.

Por otro lado, el análisis del sector satelital nacional, que a pesar de existir informes como el Plan de Órbita de ProMéxico y la Agencia Espacial Mexicana, AEM; existe escasa información que sea exclusiva del sector satelital nacional y a la vez que sea actual; ya que por lo regular se expone al sector aeroespacial, haciendo mayor alusión al subsector “aéreo”.

Es por esta razón que, la investigación incluye información de los *Clústers* Nacionales y de la Red de Ciencia y Tecnología Espacial, RedCyTE. Esta última, fue pieza fundamental para conocer no sólo los actores dentro del sector satelital, sino, en qué proyectos y áreas incursionan, así como la infraestructura con la que se cuenta a nivel nacional. Aunque actualmente la Red no está siendo financiada, sigue impulsando las actividades de colaboración entre sus miembros, aportando soluciones a problemas nacionales.

Como parte del análisis estratégico, se identificaron y seleccionaron aquellas estrategias que sirvieran de base para el Desarrollo del Sector Satelital Nacional:

- El aprovechamiento de recursos humanos y la creación de nuevos programas de estudio superior y de posgrado, afines.

- La experiencia en otros sectores relacionados y la posible vinculación con entidades nacionales e internacionales a través de una política industrial y tecnológica.
- La ubicación geográfica de nuestro país, como ventaja comparativa.
- El desarrollo de tecnologías de bajo costo y de proyectos de alto nivel con agencias espaciales internacionales.
- La infraestructura a nivel académico, centros de investigación y laboratorios de alto nivel con los que se cuenta.
- La posibilidad de realizar proyectos autosustentables, que permitan la inversión y generación de recursos para financiar nuevos proyectos.
- El tomar como base, experiencias de países emergentes (Corea, China, India), que se encontraban hace años, en las mismas condiciones que México.

Otro tema importante, fue el impacto del COVID-19 en el sector satelital, mismo que hasta el momento, se observó que no trajo consigo efectos negativos al sector internacional, pues a pesar de ello, nuevos inversores han apostado al menos, al desarrollo de constelaciones y satélites pequeños. Hasta ahora, no se tienen suficientes datos para conocer el impacto a nivel nacional, pues sólo se encontró información sobre el sector aeroespacial, mismo que se enfocó principalmente al subsector “aéreo”, en donde fue evidente el impacto negativo de esta pandemia.

Una vez realizados los análisis situacional y estratégico, se concluyó lo siguiente:

- Se espera que en los siguientes 8 años, los satélites de Navegación, conserven el primer lugar en ingresos comerciales, seguidos por los satélites de Comunicación y en tercer lugar, los satélites de Observación de la Tierra.
- La tendencia internacional es el desarrollo de satélites pequeños, a nivel individual y como constelación; pues son una opción “económica, flexible y de gran oportunidad para entidades emergentes que quieren incursionar en el área espacial”.
- Respecto al mercado de satélites pequeños, se espera que los de Comunicación, sean los más desarrollados en la siguiente década. Como segundo lugar, se desarrollarán los satélites de Observación de la Tierra y el resto serán de otras aplicaciones.

- Diversas empresas apoyan el desarrollo de constelaciones de nanosatélites, pues pueden ofrecer un servicio global, con un bajo costo y un corto tiempo de desarrollo (de 8 meses a 1 año).
- Se estima que en 2022 hasta el 75% de las operaciones de nanosatélites en órbita tendrán un objetivo de *'space business'*.
- El impacto por COVID-19 no tuvo efectos negativos en el sector satelital internacional. A pesar de esto, se espera un auge en el mercado de pequeños satélites.
- Se estima que China será el principal país que contará con satélites pequeños en órbita los siguientes 10 años, dejando atrás la competencia por la carrera espacial entre Estados Unidos y Rusia.

Finalmente, la propuesta técnica en donde, considerando lo anterior, se propuso la Misión "CONUNAM", una constelación de 6 nanosatélites de órbita baja, cuyo objetivo es el monitoreo satelital y que en el apartado 4.3.3, se recalcó su costo-beneficio.

Por lo anterior, este análisis resulta ser una herramienta de apoyo para la toma de decisiones de desarrolladores, proveedores de servicios satelitales, agencias espaciales e inversores.

## REFERENCIAS

---

- AEM. (2014). Catálogo y análisis de capacidades de investigación y desarrollo tecnológico espacial en México. *Agencia Espacial Mexicana*, 53.
- AEM. (2014). *Presentación Programa Nacional de Actividades Espaciales 2013-2018*.
- AEM. (17 de Mayo de 2019). *Agencia Espacial Mexicana*. Obtenido de <https://www.gob.mx/aem>
- AEM-CONACYT. (25 de 02 de 2020). *Fondo Sectorial de Investigación en Actividades Espaciales (FIDAE)*. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/aem-conacyt>
- Aeroclúster-Querétaro. (22 de Marzo de 2019). *Aeroclúster-Querétaro*. Obtenido de [https://aeroclusterqueretaro.mx/business-directory/wpbdp\\_category/companies/](https://aeroclusterqueretaro.mx/business-directory/wpbdp_category/companies/)
- Alén Space. (12 de Julio de 2020). *Nanosatélites*. Obtenido de <https://alen.space/es/guia-basica-nanosatelites/>
- Aparicio Estrada, M. (2017). *Impulso del Desarrollo de Tecnología Espacial en México a través de Proyectos Universitarios en la UNAM. Presentado en el concurso: "Impulso a la innovación en la UNAM"*. Ciudad de México.
- Aragón, O. (2015). *Tesis: Estudio de una constelación de observación terrestre en órbita LEO (Low Earth Orbit)*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Aristegui, C. (22 de Marzo de 2019). *Tras fracaso con satélite Centenario, la SCT lo intentará de nuevo*. Obtenido de <https://aristeguinoicias.com/3007/mexico/tras-fracaso-con-satelite-centenario-la-sct-lo-intentara-de-nuevo/>
- AXA-XL. (25 de 02 de 2020). *Space Insurance*. Obtenido de <https://axaxl.com/insurance/products/space-insurance>
- Betancourt, D. (29 de Junio de 2018). *Análisis CAME: ¿Qué es y cómo se hace?* Obtenido de [www.ingenioempresa.com/analisis-came](http://www.ingenioempresa.com/analisis-came)
- Chihuahua's-Aerospace-Cluster. (2019). *Chihuahua's Aerospace Cluster*. Obtenido de <http://aerospaceclusterchihuahua.com/>
- Clúster-Aeroespacial-BC. (2019). *Clúster Aeroespacial de Baja California*. Obtenido de <http://bajaaerospace.org/>

- CONACYT. (24 de Marzo de 2019). *El CONACyT*. Obtenido de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt>
- CONACYT. (2020). *Estación para la Recepción de Información Satelital, ERIS (Chetumal)*. Obtenido de <http://www.conacyt.gob.mx/index.php/glosario-de-terminos-sni/365-ciencia-para-la-sociedad/notas-informativas/1042-estacion-para-la-recepcion-de-informacion-satelital-eris-chetumal>
- CONACYT-AEM. (10 de Junio de 2017). *Convocatoria: Fondo Sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Actividades Espaciales CONACYT-AEM*. Obtenido de <http://www.conacyt.gob.mx/index.php/convocatorias-conacyt/14990-bases-de-la-convocatoria-aem-2017/file>
- CONACYT-SENER. (05 de Abril de 2017). *Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética*. Obtenido de <https://conacyt.gob.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-sustentabilidad-energetica>
- COPUOS. (25 de 02 de 2020). *Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*. Obtenido de <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>
- Sánchez Guerrero, G. (2016). *Técnicas heurísticas participativas para la planeación*. México: Plaza y Valdés.
- Euroconsult - a. (23 de 05 de 2020). *Small Satellite Market*. Obtenido de [http://www.euroconsult-ec.com/shop/index.php?id\\_product=140&controller=product](http://www.euroconsult-ec.com/shop/index.php?id_product=140&controller=product)
- Euroconsult - b. (2020). *Prospects for the Small Satellite Market*. France.
- Euroconsult. (2019). *The Space Economy Report 2019*. France: 6th Edition.
- Euroconsult-ec. (2017). *Satellite Value Chain: The Snapshot 2017*. Obtenido de <http://euroconsult-ec.com/research/satellite-value-chain-2017-extract.pdf>
- Euroconsult-ec. (2018). *Satellite Value Chain: The Snapshot 2018*. Obtenido de [http://www.euroconsult-ec.com/shop/index.php?id\\_product=112&controller=product](http://www.euroconsult-ec.com/shop/index.php?id_product=112&controller=product)
- EUTELSAT. (2020). *Eutelsat Américas*. Obtenido de <https://www.eutelsatamericas.com>
- Farah, L. (2017). *Tesis doctoral: Administración de tecnología con perspectiva sustentable en la industria*. Ciudad de México: Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración.

- Gaceta-UNAM. (27 de 07 de 2017). *Programa Espacial Universitario*. Obtenido de <http://www.gaceta.unam.mx/20170727/se-creo-el-programa-espacial-universitario/>
- HPE. (26 de Abril de 2019). *¿Qué es una OEM?* Obtenido de <https://www.hpe.com/mx/es/what-is/oem.html>
- IFT. (2013). *Regulación Satelital en México*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/regulacionsatelitalenmexicoestudioyacciones19-06-2013-final.pdf>
- IFT. (25 de 02 de 2020). *Instituto Federal de Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/conocenos/filosofia>
- LACIGE. (25 de 02 de 2020). *Laboratorio de Ciencias Geoespaciales (LACIGE)*. Obtenido de <http://www.lacige.unam.mx/>
- LANCE. (25 de 02 de 2020). *Laboratorio Nacional de Clima Espacial*. Obtenido de <http://www.lance.unam.mx/>
- La-Vanguardia. (25 de 02 de 2020). *¿Cuánto vale el seguro de un satélite?* Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/seguros/empresa/20180615/462106116625/cuanto-vale-el-seguro-de-un-satelite.html>
- Lisi Aerospace. (2020). *Lisi Aerospace*. Obtenido de <https://www.lisi-aerospace.com/en/>
- LNIEA. (25 de Julio de 2017). *Laboratorio Nacional de Ingeniería Espacial y Automotriz*. Obtenido de <http://www.ingenieria.unam.mx/uat/laboratorio-nacional.html>
- MAPFRE-Global-Risks. (25 de 02 de 2020). *El mercado de seguros de satélites*. Obtenido de <https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/el-mercado-de-seguros-de-satelites/>
- Mendieta Jiménez, F. J. (14 de Diciembre de 2015). *El Espacio: Oportunidad para México*. Obtenido de [http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/mendieta/trabajo\\_final.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/mendieta/trabajo_final.pdf)
- MEXICO INDUSTRY. (09 de Julio de 2020). *Perspectivas de la Industria Aeroespacial en México*. Obtenido de <https://mexicoindustry.com/webinars/perspectivas-de-la-industria-aeroespacial-en-mexico/>
- Monterrey-Aeroclúster. (2019). *Monterrey Aerocluster*. Obtenido de <https://www.monterreyaerocluster.com/#05>
- MXSPACE. (2020). *Iniciativa Espacial Mexicana*. Obtenido de <http://mxspace.mx/home-3/>
- NANOTECH. (25 de 02 de 2020). *Laboratorio Nacional de Nanotecnología (NANOTECH)*. Obtenido de <https://ntch.cimav.edu.mx/>

- NASA. (2020). *NASA, ¿qué-es-el-aztechsat-1?* Obtenido de <https://ciencia.nasa.gov/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-aztechsat-1>
- Nieto Colín, F. (2017). *Política Industrial y Tecnológica*. Ciudad de México.
- PEU. (27 de Julio de 2017). *Programa Espacial Universitario (Gaceta digital UNAM)*. Obtenido de <http://www.gaceta.unam.mx/20170727/se-creo-el-programa-espacial-universitario/>
- PNAE. (10 de Enero de 2018). *Programa Nacional de Actividades Espaciales 2013-2018*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442785/Programa\\_Nacional\\_de\\_Actividades\\_Espaciales\\_2013-2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442785/Programa_Nacional_de_Actividades_Espaciales_2013-2018.pdf)
- PNEIA. (02 de Junio de 2017). *Plan Nacional Estratégico de la Industria Aeroespacial*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58802/Plan\\_Estrat\\_gico\\_de\\_la\\_Industria\\_Aeroespacial\\_junio.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58802/Plan_Estrat_gico_de_la_Industria_Aeroespacial_junio.pdf)
- Porter, M. E. (2016a). *Estrategia Competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia* (2ª ed.). México: Patria.
- Porter, M. E. (2016b). *Ventaja Competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. (2ª ed.). México: Patria.
- ProMéxico-AEM. (2017). *Plan de órbita 2.0 - Mapa de Ruta del Sector Espacial Mexicano*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414932/Plan\\_Orbita\\_2.0.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414932/Plan_Orbita_2.0.pdf)
- Rebollar Trejo, B. (22 de Enero de 2017). *Historia de los satélites mexicanos*. Obtenido de <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=262>
- RedCyTE. (2016). *Informe técnico de la Red temática de Ciencia y Tecnología de Espacio del CONACyT*. Ciudad de México.
- RedCyTE. (19 de Diciembre de 2018). *Estadísticas de la Red de Ciencia y Tecnología del Espacio*. Obtenido de <https://www.redcyte.mx/>
- RedCyTE. (2019). *Reunión Anual de la Red de Ciencia y Tecnología del Espacio del CONACyT*. Juriquilla, Querétaro.
- Rivera Valdez, J. (27 de Enero de 2019). *Sistema UNAMSAT*. Obtenido de <http://satmex-garcialara.blogspot.com/2012/12/sistema-unamsat.html>

- Roch Soto, J. (10 de Enero de 2017). *La participación del IPN en el desarrollo espacial mexicano*. Obtenido de [http://www.cudi.edu.mx/boletin/2010/ipn/01\\_espacial\\_JROCH.pdf](http://www.cudi.edu.mx/boletin/2010/ipn/01_espacial_JROCH.pdf)
- SAGARPA-SIAP. (2017). *Monitoreo Satelital*. Ciudad de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/prensa/estacion-ermex-ng-informacion-precisa-para-dar-sustentabilidad-y-erradicar-pobreza-en-campo>
- Santillán Gutiérrez, S. D., Romo Fuentes, C., Ramírez Aguilar, J. A., Pérez Guzman, J. A., García Osorio, A., de la Rosa Nieves, S., . . . Vázquez Robledo, R. A. (2014). *Estudio de factibilidad del Laboratorio Nacional de Ingeniería Espacial y Automotriz*. Juriquilla, Querétaro.
- SEMAR. (19 de Julio de 2020). *E V I S M A R*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semar/acciones-y-programas/estaciones-satelitales>
- Simón, N. & Rueda, I. (2016). *Hacia una administración sustentable*. FCA Publishing UNAM. Ciudad de México.
- SMAD. (2005). *Space Mission Analysis and Design*. USA: Space Technology Library.
- STK . (24 de Julio de 2020b). *Walker Tool*. Obtenido de <https://help.agi.com/stk/11.0.1/Content/stk/tools-12.htm>
- STK. (2020). Software: Systems Tool Kit.
- STK. (22 de Julio de 2020a). *Orbital elements*. Obtenido de [https://help.agi.com/stk/11.0.1/Content/stk/vehSat\\_coordType\\_classical.htm](https://help.agi.com/stk/11.0.1/Content/stk/vehSat_coordType_classical.htm)
- Telecomm (10 de agosto de 2020). Telecomm. Obtenido de <https://www.gob.mx/telecomm/>
- Thales Alenia Space. (2020). *THALES ALENIA SPACE*. Obtenido de <https://www.thalesgroup.com/en/global/activities/space>
- UAT-Aeroespacial. (2016). *Reporte técnico Quetzal*. México: UAT-FI-UNAM.