

MIRANDO HACIA LAS ESTRELLAS:
UNA CONSTANTE NECESIDAD HUMANA



EL ESPACIO EXTERIOR

Vol. **1**

UNA OPORTUNIDAD INFINITA
PARA COLOMBIA



Carlos Enrique Álvarez Calderón • Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez
Editores

MIRANDO HACIA LAS ESTRELLAS:
UNA CONSTANTE NECESIDAD HUMANA

EL ESPACIO EXTERIOR

UNA OPORTUNIDAD INFINITA
PARA COLOMBIA

Vol. **1**



MIRANDO HACIA LAS ESTRELLAS:
UNA CONSTANTE NECESIDAD HUMANA

EL ESPACIO EXTERIOR

UNA OPORTUNIDAD INFINITA
PARA COLOMBIA

Vol. 1



Carlos Enrique Álvarez Calderón • Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez
Editores

Bogotá, D. C., 2019

Catalogación en la publicación - Escuela Superior de Guerra y Fuerza Aérea Colombiana

El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia /Editores Carlos Enrique Álvarez Calderón y Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez - Bogotá.: Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" y Fuerza Aérea Colombiana, 2019.

2 volúmenes: Vol. 1. 370 páginas, ilustraciones; 16x23,5 cm.

ISBN: 978-958-52456-1-7 (Obra completa) 978-958-52456-2-4 (Volumen 1)

E-ISBN:978-958-99118-8-4 (Obra completa) 978-958-99118-9-1 (Volumen 1)

1. Espacio Exterior – Poder Espacial – Carrera Espacial – Siglo XXI 2. Espacio Ultraterrestre – Programas Espaciales – Siglo XXI 3. Política Espacial – Colombia – Siglo XXI 4. Colombia – Geopolítica del Espacio Exterior – Derecho Internacional del Espacio i. Álvarez Calderón, Carlos Enrique (Editor) ii. Corredor Gutiérrez, Carlos Giovanni (Editor) iii. Colombia. Fuerza Aérea Colombiana iv. Colombia. Comando General de las Fuerzas Militares

Archivo descargable en formato pdf en: <https://esdeguelibros.edu.co/index.php/editorial/catalog>

Título: Volumen 1. El Espacio Exterior: Una Oportunidad Infinita para Colombia.
Mirando hacia las Estrellas: Una Constante Necesidad Humana

Primera edición, 2019

Libro resultado de investigación

Editores

© Carlos Enrique Álvarez Calderón

© Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez

Coordinadores editoriales

Gerson Ricardo Jaimes Parada

María Camila Villegas Jiménez

Autores

© Carlos Enrique Álvarez Calderón

© Eliot Gerardo Benavides González

© Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez

© María Alejandra Corzo Zamora

© Jenny Lorena Hernández Jara

© Gerson Ricardo Jaimes Parada

© Álvaro Molano Valbuena

© Santiago Murillo Colmenares

© Ricardo Javier Paredes Muñoz

© Robert Santiago Quiroga Cruz

© Yesid Eduardo Ramírez Pedraza

© Jonathan Camilo Urbina Carrero

© Martin Fernando Zorrilla

Diseño y Diagramación

GRAPHIC MOTION

Gladys Cecilia Lancheros Rodríguez

gladysclancheros@gmail.com

ISBN Impreso Vol. 1: 978-958-52456-2-4

ISBN Impreso - Obra completa: 978-958-52456-1-7

ISBN Digital Vol. 1: 978-958-99118-9-1

ISBN Digital - Obra completa:978-958-99118-8-4

© 2019 Escuela Superior de Guerra

"General Rafael Reyes Prieto"

Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales

ESDEG-SIIA

Carrera 11 No. 102-50 - Bogotá. D. C., Colombia

© 2019 Fuerza Aérea Colombiana

Jefatura de Educación Aeronáutica

Av. Calle 26 No. 52-24 Bogotá., D. C., Colombia

Libro electrónico publicado a través de la plataforma

Open Monograph Press.

Tiraje de 500 ejemplares

Impreso en Colombia - *Printed in Colombia*

Este libro ha sido evaluado con un procedimiento de doble ciego –*blind peer reviewed*.

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su totalidad ni en sus partes, tampoco registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

El contenido de este libro corresponde exclusivamente al pensamiento de los autores y es de su absoluta responsabilidad. Las posturas y aseveraciones aquí presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representa la posición oficial ni institucional de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, de la Escuela Militar de Aviación, de la Oficina de Asuntos Espaciales de la Fuerza Aérea Colombiana, de las Fuerzas Militares o del Estado Colombiano.



DIRECTIVOS

Comandante Fuerza Aérea Colombiana
General Ramsés Rueda Rueda

Jefe de Educación Aeronáutica
Brigadier General Eliot Gerardo Benavides González

Jefe Oficina de Asuntos Espaciales
Teniente Coronel Robert Santiago Quiroga Cruz



Escuela Superior de Guerra
"General Rafael Reyes Prieto"
Colombia

DIRECTIVOS

Director Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Contralmirante Orlando Enrique Grisales Franceschi

Director Centro de Estudios Estratégicos sobre Seguridad y Defensa Nacionales
Coronel Oscar Mario Ramírez Villegas

Director Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales
Coronel (RA) Yesid Eduardo Ramírez Pedraza

Ad astra per aspera

CONTENIDO

- 13 **Prefacio /**
Marta Lucía Ramírez de Rincón
Vicepresidenta de la República
- 15 **Prólogo /**
General Ramses Rueda Rueda
Comandante Fuerza Aérea Colombiana
- 17 **Presentación /**
Contralmirante Orlando Enrique Grisales Franceschi
Armada Nacional de Colombia
Director Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
- 21 **Capítulo 1**
El Poder Espacial y la Seguridad Multidimensional /
Carlos Enrique Álvarez Calderón, CR. Santiago Murillo Colmenares,
MY. Jenny Lorena Hernández Jara y CT. Jonathan Camilo Urbina Carrero
- 85 **Capítulo 2**
Geopolítica del Espacio Exterior: Dominio Estratégico del Siglo XXI
para la Seguridad y Defensa /
Carlos Enrique Álvarez Calderón, BG. Eliot Gerardo Benavides González
y CR. (Ra) Yesid Eduardo Ramírez Pedraza
- 195 **Capítulo 3**
El Espacio Ultraterrestre y el Derecho Internacional /
Carlos Enrique Álvarez Calderón y CR. Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez
- 239 **Capítulo 4**
El Espacio Exterior, Escenario de Competencia o Cooperación en Amé-
rica del Sur: Los Casos de Argentina, Brasil, México y Venezuela /
Carlos Enrique Álvarez Calderón, CR. (RA). Álvaro Molano Valbuena,
CR. Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez y CR. Martin Fernando Zorrilla.
- 285 **Capítulo 5**
Programas Espaciales de Europa, Estados Unidos de América, Fede-
ración Rusa y República Popular China /
Carlos Enrique Álvarez Calderón y CR. Robert Santiago Quiroga Cruz
- 331 **Capítulo 6**
La Nueva Economía del Siglo XXI: El Sector Privado en el Espacio /
Carlos Enrique Álvarez Calderón, CT. María Alejandra Corzo Zamora
MY. Gerson Ricardo Jaimes Parada y CR. Ricardo Javier Paredes Muñoz
- 369 **Autores /**

Prefacio

Marta Lucía Ramírez de Rincón
Vicepresidente de la República

Durante gran parte del siglo XX, la Carrera Espacial fue elemento de relevancia para los asuntos concernientes a la Seguridad y la Defensa de los Estados. Y si bien, hasta hace muy pocos años, era innegable el monopolio de los Estados Unidos y Rusia por el control del espacio exterior, esta situación ha comenzado a cambiar a medida que las potencias en ascenso -en un sistema internacional dirigido hacia la multipolaridad- se embarcan en la investigación, la exploración, y la utilización del espacio ultraterrestre.

La industria espacial mundial experimenta desde hace una década un crecimiento sin precedentes, hasta el punto de que actualmente hay más de 4.000 satélites en órbita. Paralelamente, las inversiones privadas comienzan a sobrepasar a las inversiones de los Estados; hecho éste, que demuestra que la competitividad y la innovación, son factores claves en esta revolución denominada "New Space". Nunca antes ha existido una mayor oportunidad para que nuevos actores como Colombia, puedan beneficiarse del sector espacial.

La evidente urgencia de adoptar una estrategia nacional para el espacio exterior y las demandas conceptuales que ella exige, sumadas a la necesidad práctica de un consenso político para implementar tales ideas, no siempre se logran articular, debido al desconocimiento de los beneficios que ofrecen los activos basados en el espacio. Los satélites de telecomunicaciones, navegación global y observación de la Tierra, y sus aplicaciones derivadas, proporcionan soluciones operativas, datos e información que permiten implementar una amplia gama de actividades contenidas en los planes de Gobierno.

En un esfuerzo por elevar la conciencia de nuestra sociedad sobre el impacto que el espacio tiene en nuestra vida diaria, pero, sobre todo, en la calidad de ella, la Fuerza Aérea Colombiana y la Escuela Superior de Guerra, se han unido para presentar esta obra de dos volúmenes, que se constituye en la primera de su clase en el país. En buena hora, los autores analizan en ella, temas de interés concernientes al espacio ultraterrestre, y que, a partir de un interesante diagnóstico, se espera, contribuya a trazar la Gran Estrategia de Colombia en este escenario vital para los intereses nacionales.

Prólogo

*General Ramses Rueda Rueda
Comandante Fuerza Aérea Colombiana*

La Fuerza Aérea Colombiana presenta la obra literaria “El Espacio Exterior una Oportunidad Infinita para Colombia” la cual, hace parte de la conmemoración de los 100 años de nuestra Institución al servicio del País.

Este texto de dos volúmenes, tanto digitales como impresos, corresponde a un trabajo académico e investigativo documental producto de la cooperación sostenida de los grupos de investigación de la Fuerza Aérea Colombiana y la Escuela Superior de Guerra, quienes comparten a la opinión pública los resultados de tal esfuerzo bajo los títulos “Mirando Hacia las Estrellas: una Constante Necesidad Humana” y “El Cielo no es el Límite: el Futuro Estelar de Colombia”.

Cada uno de ellos es pertinente y coherente con el empeño institucional por generar cultura en el campo espacial, como también, con la intención de ilustrar el impacto positivo de las actividades espaciales en la vida cotidiana de individuos y sociedades. En este sentido, se destaca la defensa del avance de este sector a pesar de sus altos costos, teniendo en cuenta su retorno exponencial en términos de empleos, conocimientos tecnológicos y científicos, la creación de spin-offs y stratups en tecnologías relacionadas.

Esta investigación rinde tributo al lema que toma con determinación en sus garras nuestra águila de gules, “sic itur ad astra”, “así se va a las alturas”, cuya literalidad traza un horizonte más lejano y ambicioso: “así se va a las estrellas”. Estas palabras definen el derrotero de nuestra Fuerza, reto que incorpora el escudo de nuestra Alma Mater, fijando el espacio como meta mientras se recorre el camino de la ciencia, tal como lo hicieron nuestros fundadores, quienes definieron claramente la filosofía que nos guía.

Fue persiguiendo ese sueño que, el 28 de noviembre del 2018, Colombia, a través de su Fuerza Aérea, siguió escribiendo la historia al llegar a ese punto con nuestro primer activo estratégico espacial, el FACSAT I, piedra fundacional sobre la cual estamos construyendo una nueva etapa de crecimiento y desarrollo para la nación. Ahora, nuestros dominios son mayores y, consecuentemente, los estándares deben ser más altos.

Dicha dinámica nos ha llevado a contemplar una nueva perspectiva, transformando nuestra organización y misión institucional, que ahora nos indica: “volar, entrenar y combatir para vencer y dominar el aire, el espacio y el ciberespacio, en defensa de la soberanía, la independencia, la integridad territorial, el orden constitucional y contribuir con los fines del Estado”.

La materialización del sueño de nuestros fundadores, sumado al devenir de los contextos nacionales y globales, ha impulsado un cambio consecuente en nuestra proyección, plasmado en la actualización de la visión compartida por quienes tenemos la responsabilidad de trazar los destinos de esta gran Institución: “para ejercer el dominio en el aire, el espacio y el ciberespacio, la Fuerza Aérea será innovadora, polivalente, interoperable, líder y preferente regional, con alcance global y con capacidades disuasivas reales, permanentes y sostenibles”.

Este proceso, nos lleva a asumir con decisión la generación de conocimiento y doctrina espacial, liderando la exploración del espacio en nombre de la nación, siendo motor y nodo del esfuerzo académico, público y privado, de una industria que jalonará el progreso de Colombia, su sociedad, economía e influencia regional. Todo esto, en coordinación con la Vicepresidencia de la República y la Comisión Colombiana del Espacio.

El esfuerzo que realizamos, responde al crecimiento acelerado del interés mundial en este campo que desarrolla el presente y futuro del poder aeroespacial. Prueba de ello, es el emprendimiento público y privado que ha tenido en el último año: más de 70 Estados miembros de la ONU han establecido programas espaciales liderados enteramente por sus gobiernos; de otro lado, la mitad de los lanzamientos satelitales han sido apropiados por conglomerados comerciales de carácter no gubernamental.

De esta manera, “El Espacio Exterior una Oportunidad Infinita para Colombia”, contribuye al entendimiento de esta realidad que ya estamos viviendo, forjando la conciencia geopolítica que nos permitirá apreciar realmente la medida en que nuestro mundo depende del espacio y, aún más importante, cuán fundamental es que siga siendo un entorno pacífico y seguro, donde podamos invertir nuestros preciados recursos: talento humano, capacidades, tiempo y presupuesto.

Presentación

*Contralmirante Orlando Enrique Grisales Franceschi
Armada Nacional de Colombia
Director Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"*

Mucho antes de que iniciara la primera era espacial, los escritores de ciencia ficción se imaginaban seres humanos, corporaciones privadas y Estados-nación colonizando la Luna, Marte y otros rincones del Universo. Las conjeturas entre los especialistas variaban con respecto a ¿qué harían los humanos una vez aseguraran estos nuevos "mundos"?, aunque pocos dudaban de que la política terrestre eventualmente se ampliaría al espacio ultraterrestre.

Por ello, cuando la carrera espacial del periodo de Guerra Fría comenzara de manera oficial en 1957, con la puesta en orbita del primer satélite artificial (el *Sputnik 1*), y alcanzara su apogeo en 1969, con el aterrizaje lunar del *Apolo 11*, a pesar de que se evitaron los peores temores de la política mundial, como los reclamos territoriales y las "guerras espaciales", la política internacional y las rivalidades terrestres se manifestaron en forma de satélites militares y proyectos espaciales de prestigio.

Sin embargo, a diferencia del siglo XX, el mundo se ha vuelto fenomenalmente dependiente de las actividades basadas en el espacio en la actualidad, tanto para las comunicaciones, el pronóstico del tiempo, los estudios ambientales y la navegación, entre muchos otros; ello explicaría porqué en los últimos veinte años, el número de Estados nacionales con capacidad espacial haya aumentado de manera significativa, así como un número creciente de empresas privadas.

Si más actores y una mayor competencia reducirían los costos de lanzamiento y operación, surgirán más oportunidades para misiones espaciales públicas, corporativas, universitarias, sin fines de lucro o de fuentes múltiples, como la minería o el turismo espacial. En consecuencia, cualquiera que sea la forma que tome hacia el futuro el régimen internacional existente para el espacio exterior, estará intrínsecamente conectado a la conceptualización y práctica de la soberanía estatal, la cual se basa en la suposición de que los actores son soberanos, y ejercen el poder en nombre y para la seguridad y defensa de los Estados-nación.

En efecto, el concepto de soberanía estatal evolucionó en un entorno donde la autoridad se definía en gran medida desde el punto de vista geográfico. Pero ¿podría aplicarse la idea de soberanía sobre el espacio geográfico, a un entorno tan vasto como el espacio exterior? Si bien algunos astronautas han comentado cómo los límites políticos de la Tierra son invisibles desde el espacio, su realidad no se anula. Aunque las órbitas de la Tierra o las vastas extensiones entre los planetas parecerían desafiar la creación humana de límites y fronteras, la superficie de la Luna podría en principio ser demarcada, y los asteroides podrían ser asignados de manera similar a los Estados o a las corporaciones privadas.

Todas estas cuestiones obligan a comprender que el espacio exterior, es al mismo tiempo, un escenario de cooperación y de competencia. Para tal fin, la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" (ESDEG) y la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), estrecharon sus lazos de colaboración académica en la construcción de la obra: "El Espacio Exterior: una oportunidad infinita para Colombia", con el propósito de contribuir al entendimiento de la importancia estratégica que reviste las actividades espaciales para Colombia, no solo en la garantía de su seguridad y defensa, sino también en el avance del desarrollo social y la prosperidad económica.

En este orden de ideas, la Escuela Superior de Guerra y la Fuerza Aérea Colombiana confiaron de la edición y coordinación académica de la obra al Doctor Carlos Enrique Álvarez Calderón de la ESDEG y al Coronel Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez de la FAC, los cuales en razón a su amplia trayectoria profesional y experiencia académica, lograron hacer de los dos volúmenes de "El Espacio Exterior: una oportunidad infinita para Colombia", un documento sencillo pero riguroso, que se constituye como referente para la comunidad académica.

La obra está dividida en dos volúmenes, con un total de once capítulos, preparados por veinte autores que aportan un valioso conocimiento interdisciplinar al tema. El primer volumen, titulado "Mirando hacia las estrellas: una constante necesidad humana", consta de seis capítulos que establecen las bases teóricas y conceptuales necesarias para el estudio del espacio ultraterrestre. Aborda seis temas principales que incluyen: el poder espacial y la seguridad multidimensional; la geopolítica del espacio exterior como dominio estratégico del siglo XXI para la seguridad y defensa; el espacio ultraterrestre y el derecho internacional; el espacio exterior como escenario de competencia o cooperación en América del Sur, analizando los casos de Argentina, Brasil, México y Venezuela; los programas espaciales de Europa, Estados Unidos de América, Federación Rusa y República Popular China; y la nueva economía del siglo XXI, con el papel del sector privado en el espacio.

El segundo volumen, titulado "El cielo no es límite: el futuro estelar de Colombia", está conformado por cinco capítulos, que analizan la evolución del papel y los intereses de Colombia en el espacio exterior, así como de posibles futuros desarrollos. De esta forma, se presenta la evolución del pensamiento estratégico del poder espacial desde la Fuerza Aérea Colombiana; se realiza un análisis de la política espacial colombiana desde una perspectiva de defensa y seguridad; se aborda la dimensión espacial de la ciencia y la tecnología de Colombia; se explica el vínculo geoestratégico inalienable entre Colombia y la órbita geoestacionaria; y por último se reflexiona sobre el programa espacial colombiano.

La obra es el resultado de la colaboración académica entre la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales, adscrita al Grupo de Investigación "Centro de Gravedad" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en (A1) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0104976 y vinculado al Centro de Estudios Estratégicos sobre Seguridad y Defensa Nacionales (CEESEDEN), y la Jefatura de Educación Aeronáutica de la Fuerza Aérea Colombiana, a través de los Grupos de Investigación "Ciencia y Poder Aéreo" (CIPAER), categorizado en (B) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0093003; "Gestión Tecnológica e Innovación" (GIGTI), categorizado en (C) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL01983319; "Ciencias Biomédicas Espaciales" (VOYAGER), categorizado en (C) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0196332; y "Ciencias Militares Aeronáuticas" (GICMA), categorizado en (C) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0140489.

Los dos volúmenes de la obra fueron validados a través de un procedimiento de evaluación de pares externos tipo doble ciego. Para su desarrollo, se contó con la contribución multidisciplinaria de diversos académicos civiles y militares; del trabajo de los integrantes y alumnos de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", de la Maestría en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval", de la Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez", así como miembros de la Jefatura de Educación Aeronáutica y de la Oficina de Asuntos Espaciales de la FAC.

En conclusión, la obra "El Espacio Exterior: una oportunidad infinita para Colombia", vincula diversos enfoques teóricos con casos de estudio que permiten comprender la necesidad de fomentar una presencia permanente de Colombia en el espacio exterior, así como de fortalecer una estrategia espacial en la cual se enlacen los objetivos esenciales del Estado, las buenas prácticas y cursos de acción más recomendables en política pública, así como los medios y recursos disponibles para alcanzar y proteger los imperativos espaciales de nuestro país.



CAPÍTULO I

EL PODER ESPACIAL Y LA SEGURIDAD MULTIDIMENSIONAL*

*Carlos Enrique Álvarez Calderón
CR. Santiago Murillo Colmenares
MY. Jenny Lorena Hernández Jara
CT. Jonathan Camilo Urbina Carrero*

*Este capítulo hace parte del Proyecto de Investigación de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales, *Desafíos y Nuevos Escenarios de la Seguridad Multidimensional en el Contexto Nacional, Regional y Hemisférico en el Decenio 2015-2025*, el cual hace parte del Grupo de Investigación Centro de Gravedad de la Escuela Superior de Guerra General Rafael Reyes Prieto, reconocido y categorizado en (A1) por COLCIENCIAS, con el código COL0104976; así como del proyecto de investigación de la Maestría en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana CT. José Edmundo Sandoval, titulado *Fuerza Aérea Colombiana. De la evolución de las capacidades a la independencia estratégica*, el cual hace parte del Grupo de Investigación "Ciencias Militares Aeronáuticas" (GICMA), categorizado en (C) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0140489.

1. El Poder de Las Estrellas

La mayoría de las civilizaciones humanas habrían mostrado a lo largo de la historia, cierta reverencia por el cosmos y su contenido. En efecto, el movimiento cíclico del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas, representaría un tipo de perfección inalcanzable para los mortales y, el acaecimiento regular de la salida del Sol y del ocaso lunar, habrían dado a los antiguos una sensación de orden y seguridad, así como un pilar estable en donde anclar sus pensamientos. Si el Sol nunca se pusiera y la Luna jamás se desvaneciera, las medidas humanas del tiempo se tendrían que haber basado únicamente en la biología, es decir, en el corazón palpitante, los ritmos circadianos o los ciclos menstruales, porque "la periodicidad ha sido siempre parte de lo que somos" (Newton, 2004, p. 4).

Pero los ciclos celestes se repetían sin cesar, ofreciéndose como una medida natural del tiempo en la cual los seres humanos podían confiar; tanto así, que el estudio del cosmos fue posiblemente la primera ciencia humana en la historia, ya que las personas tenían que dar sentido a lo que veían en el cielo, y usarlo para interpretar el resto del mundo; la cosmología, en el sentido elemental de un interés por el mundo natural y los fenómenos celestiales, sería anterior a la ciencia y podría llegar a rastrear-se varios miles de años antes de que los humanos aprendieran a escribir y leer¹. En efecto, existiría evidencia de que hace más de 20.000 años, los seres humanos hacían muescas en los huesos de los animales y pintaban hileras de puntos en las paredes de las cuevas para marcar los días de un ciclo lunar, tal como puede evidenciarse con el hueso Lebombo, descubierto en las montañas que bordean Sudáfrica y Suazilandia, y que dataría alrededor del año 35.000 a.C.²

1. Parte del arte rupestre encontrado en las cuevas de Lascaux en Francia y en las de Altamira en España, tendría un significado astronómico, ya que serían dibujos que podrían simbolizar el Sol y las fases de la Luna. Si es así, existiría evidencia de que el Homo Sapiens tuvo un sentido de asombro ante el Universo hace más de 20.000 años.

2. Se especula que muchos de los primeros huesos del calendario con muescas fueron conservados por mujeres para controlar los ciclos menstruales.

Entonces, desde los albores de la historia humana, el conocimiento de los cielos informó de los ritmos de la vida y del dominio del territorio, ya que la astronomía iba de la mano de la agricultura, el comercio, la migración y, por supuesto, de la guerra. Además, la observación atenta del movimiento estelar crearía y marcaría el tiempo, siendo un misterio sagrado y un conocimiento estratégico a partir del cual los astrónomos ejercían el control y servían a los poderosos. En definitiva, comprender los ritmos del cielo era un medio para conocer el carácter y el destino de todas las cosas; las primeras culturas y sus gobiernos centrales requerían métodos oficiales para organizar el tiempo, especialmente cuando se necesitaba planificar actividades, ya que los sacrificios, los festivales, la siembra y la cosecha, la recaudación de impuestos, los turnos de trabajo y las oraciones diarias se llevaban a cabo en intervalos predecibles. Por ejemplo, en el Alto Egipto, los agricultores necesitaban saber cuándo, la estrella Sirio, la más brillante del cielo, aparecería justo antes del Sol naciente, porque con ello se anunciaba la crecida del río Nilo (Wells, 1996).

Por ende, las sociedades antiguas estudiarían el movimiento de objetos celestes para ayudarse a controlar el tiempo, guiarse en la caza y la siembra, controlar la fertilidad³, determinar los principios de liderazgo y comunidad, así como para predecir y explicar los eventos terrestres (Krupp, 1997). Posteriormente, la astronomía sería esencial para regular el calendario y, finalmente, para navegar y construir mapas; previamente a la cartografía de los territorios, países y continentes, la gente memorizaba mapas imaginarios del cielo. En efecto, mucho antes de que existieran astrolabios, sextantes o relojes portátiles de precisión para establecer la distancia, la latitud y la longitud, los seres humanos midieron su posición sólo con sus ojos puestos en el cielo. Por ende, el cosmos era una guía bastante útil para saber cuántos días de viaje se necesitaban para llegar al oasis más cercano, especialmente si el camino se extendía a través de un océano inexplorado, pantanos misteriosos, dunas inestables o pastizales sin fin.

Como el cielo se vinculaba a casi todos los aspectos de la cultura humana, la astronomía se convertiría en una parte del triunvirato de estrellas, seres y espíritus que dominaba la cosmología de muchas culturas antiguas; por consiguiente, se encontraría a la astronomía antigua entrelazada con el mito, la religión y la astrología. De acuerdo con Robbins (2000), tanto confiaban los antiguos en el Sol y en la Luna, que los deificaron, y las representaciones de estos luminares como objetos de adoración terminarían adornando los templos religiosos y simbolizados en la escultura y otras obras de arte. Por

3. Ya que de su conocimiento se anticipaba cuando el ganado daría a luz y los huevos de las aves podrían ser robados de los nidos.

consiguiente, los antiguos seguirían al dios Sol adondequiera que fuese, señalando su aparición y su desaparición con gran meticulosidad, ya que su regreso a cierto punto del horizonte les indicaba cuándo sembrar, cuándo inundaría el río sus riberas o cuándo llegaría la época de los monzones; por ejemplo, para los bosquimanos africanos la aparición en el firmamento de las estrellas Canopus y Cappella marcaría el advenimiento de la temporada de lluvias, una señal para dispersarse en grupos más pequeños (Snedegar, 2000).

Asimismo, diversas culturas asociarían sus mitos fundacionales con el cosmos. Por ejemplo, los egipcios creían que el cielo estaba formado por el cuerpo arqueado de la diosa Nut (De Young, 2000); los hawaianos, en cambio, que el dios Kane hizo el Sol, la Luna y las estrellas, y los colocó en el espacio vacío entre el cielo y la tierra (Chauvin, 2000). Por su parte, en el mito inca, Manco Capac y sus hermanos y hermanas eran en realidad hijos del Sol, mientras que el de los navajos en Norteamérica, sostenía que el Sol se formaba a partir de una pieza perfecta de turquesa y la Luna de una pieza perfecta de concha blanca (Dearborn, 2000). Y como los antiguos desplegaban considerables esfuerzos para rendir tributo a sus deidades celestes, no debería sorprender que principios astronómicos desempeñaran una función central en el diseño de los centros ceremoniales en que adoraron a sus dioses, como las grandes pirámides egipcias, las estatuas de la Isla de Pascua o las enormes cabezas olmecas en México.

Stonehenge sería quizás el ejemplo más famoso de una estructura antigua que, según se cree, tendría una función astronómica; en 1964, el astrónomo Gerald Hawkins teorizaría que los megalitos, erguidos desde hace 5.000 años en la planicie del sur de la Gran Bretaña, constituían un calendario de piedra en el que cada componente estaría colocado de manera deliberada y precisa para que se alineara con fenómenos astronómicos que tenían lugar en el horizonte local (Kragh, 2007). En el altiplano de México, el proyecto del gran centro ceremonial de Teotihuacán parecería haberse organizado para armonizarse con las posiciones del Sol y otras estrellas; y casos similares podrían encontrarse en los restos arqueológicos en la Península de Yucatán, Perú, Chile y Colombia (Aveni, 1996). Tal sería el caso del observatorio solar de los muiscas conocido como "El Infiernito"⁴, ubicado en el Parque Arqueológico de Monquirá en Colombia; un rectángulo en dirección oriente a occidente comprendido por dos filas de 30 columnas fálicas, destinado tanto a recibir el Sol en su aparición en el horizonte, como para seguirlo y observarlo en su movimiento hasta la culminación en el cenit. Éste era un fenómeno que los sacerdotes muiscas determinaron por medio de pilares

4. El nombre de "Infiernito" fue acuñado por los conquistadores españoles, ya que, en su concepción, la talla de los falos (que para la cultura de los Muiscas eran símbolo de fecundidad de los campos), solo podía ser obra del demonio.

o torres erigidos a cielo abierto, con el fin de registrar las sombras que marcaban sobre el piso y los solsticios del inicio y el final del verano y del invierno.

Por tanto, habría evidencia del uso y desarrollo de calendarios en prácticamente todas las culturas antiguas, que revelaban el orden, la regularidad y los ritmos cíclicos del Universo. Existían calendarios luni-solares, solares y lunares; pero ningún número redondo de ciclos lunares coincide con la duración del año solar, una discrepancia que daría lugar a continuos problemas con los calendarios. En efecto, varias culturas tempranas siguieron un año de 12 meses, mientras que otros de 13; pero, a pesar de las discrepancias, en algún momento a mediados del quinto milenio antes del nacimiento de Cristo, los egipcios contaban el número correcto de días enteros en un año e idearon un calendario solar de 365 días que comenzó con el ascenso de Sirio, registrado el 19 de julio del 4236 a.C.⁵ (Wells, 1996). De manera similar, en Mesoamérica el calendario era uno solar de 365 días que se combinaba con un calendario ritual lunar de 260 días y el ciclo de Venus de 584 días (Broda, 2000). Unos serían utilizados enteramente para fines religiosos y ceremoniales, otros más seculares, con fines de orientación. Algunos años nuevos comenzarían con el levantamiento de las Pléyades o la primera vista tenue de la Luna creciente; otros tuvieron dos temporadas y no se dividieron en meses, mientras que algunos estaban mucho más cerca del calendario gregoriano⁶.

No obstante, todos los calendarios tendrían que lidiar con la composición del mes intercalar; esto se haría de maneras novedosas en diferentes civilizaciones, llegando algunos calendarios a ser sorprendentemente precisos dadas las herramientas limitadas con las que se contaba para construirlos. A diferencia del día solar, el mes lunar, el año terrestre u otros ciclos celestes que los antiguos pudieron observar, las subunidades de tiempo como la hora, el minuto y el segundo serían, por el contrario, resultado de la preferencia cultural y matemática; sociológicamente, el tiempo dividido en subunidades sugería la aparición de la supervisión, estandarización e incluso penalización del trabajo. Como resultado, aparecerían los primeros relojes, ya fuesen basados en una sombra en movimiento (el obelisco o el reloj de sol), en el fluido de una corriente de agua (la clepsidra)⁷, o en un péndulo oscilante. Entonces, los sume-

5. Posiblemente la fecha registrada más antigua de la historia.

6. Por ejemplo, los aztecas seguían un sistema de dieciocho meses de veinte días, con un resto de cinco días.

7. Las clepsidras eran relojes de agua que medían el tiempo mediante el flujo regulado de un líquido; más que marcar la hora como los relojes, cumplían un papel similar al de los cronómetros actuales con ayuda de marcas en las vasijas que contenían o recibían el agua. Eran utilizadas cuando los relojes de sol no podían ser usados, sobre todo de noche. Su invención se disputa entre la civilización egipcia y la babilónica, pero un jeroglífico egipcio atribuye su autoría a Amenemhat quien inventó una clepsidra en honor al rey Amenhetep I (1514-1494 a.C.). No obstante, este artilugio lo usarían persas, griegos, romanos, chinos, entre otros; en los campamentos romanos se utilizaban para medir las guardias, y en los tribunales griegos y romanos para repartir de forma equitativa los turnos de palabra.

rios dividirían el día en doceavos, y cada doceavo en trece, mientras que los egipcios dividirían el día y la noche en doceavos (dando nacimiento al día de 24 horas); por su parte, a los babilonios se les ocurrió la fracción de una hora en 60 minutos y de un minuto en 60 segundos (Breasted, 1935).

Además de medir y marcar el tiempo, las primeras civilizaciones tenían el desafío de mapear el cielo cósmico, ya que, si éste era la fuente de la fortuna y el desastre, la prudencia exigía que las estrellas y las constelaciones que se rastreaban fuesen atentamente demarcadas y monitoreadas. Algunos primeros astrónomos chinos dividieron el cielo en cinco palacios; en nueve campos, 12 ramas terrenales o 28 mansiones lunares. Por su parte, los primeros astrónomos de Mesopotamia dividieron el horizonte oriental en los caminos de tres dioses, con 60 estrellas fijas y constelaciones que se alzaban dentro de dichos caminos, mientras que astrónomos babilonios posteriores dividieron el cielo en 12 segmentos, cada uno asociado con una constelación encerrando a su vez 30 grados de la trayectoria anual del Sol a través del cielo, formando las 12 constelaciones clásicas del zodiaco occidental.

Adicionalmente, los días de celebración y festividades importantes se podían señalar de manera efectiva valiéndose del calendario celeste. Dotadas de conocimientos matemáticos y un método para llevar registros, las primeras sociedades podían afinar y ampliar su conocimiento de la astronomía posicional, y al cabo de varias generaciones, con la ventaja de un registro “escrito”, pudieron aprender a predecir fenómenos celestes (como los eclipses), con mucha anticipación. Durante el primer milenio a.C., astrónomos de Mesopotamia y China (al servicio de monarcas, señores de la guerra y sacerdotes), compilaron registros sistemáticos de lo que sucedía ante sus ojos, desarrollando sistemas e instrumentos para predecir lo que pudiese ocurrir en el futuro; por ejemplo, alrededor del 500 a.C., astrónomos de Babilonia habían ideado formas matemáticas de predecir las fechas de las lunas nuevas y completas, mientras que el primer registro conocido de una serie de eclipses solares (acontecidos entre el 720 y el 480 a.C.), proviene de China. Incluso, para el 200 a.C., los astrónomos de la corte china habían comenzado a registrar la mayoría de los fenómenos celestes visibles a simple vista, tanto cíclicos como episódicos, como auroras, cometas, meteoritos, manchas solares, novas y supernovas, así como los trayectos de los planetas mes a mes (Tseng, 2011).

La supuesta relación entre las actividades en el Universo y los asuntos de Estado en la Tierra haría, por consiguiente, que este registro se mantuviera como una actividad reservada, o en el lenguaje moderno, como un secreto de Estado. En este orden de

ideas, qué gran ventaja no tendría la élite sobre sus seguidores con aquel acervo de conocimientos en su repertorio, indicando una conexión entre el poder político y poder divino. En efecto, algunas sociedades como los incas y los chinos reconocerían una conexión entre el cielo y la tierra, que utilizarían para dotar a sus líderes con mandatos celestiales (Xiaochun, 2000). Es decir, cuanto más pudiera demostrar su conocimiento astronómico un gobernante, comandante militar o sacerdote, especialmente con respecto a la predicción de eventos como eclipses o cometas, más poder político, militar o espiritual terrenal podría llegar a ejercer.

En efecto, la línea entre lo religioso y lo secular era muy estrecha o inexistente y, como en el caso actual, aquellos con la ciencia y tecnología más sofisticadas tenían un mayor estatus y capacidad de poder e influencia; es decir, estar en contacto con el cielo siempre habría demostrado ser beneficioso. La historia de Cristóbal Colón y el eclipse lunar de 1504 sería un ejemplo de ello: con sus barcos en mal estado, Colón sufriría la amenaza de la detención en el suministro diario de alimentos por parte de los indígenas nativos; pero Colón tendría una astuta idea, ya que al estar en posesión de los conocimientos acerca de un próximo eclipse total de Luna (calculado para el 29 de febrero de 1504), utilizaría este conocimiento amenazando a los indígenas con que haría desaparecer la Luna si éstos no le suministraban a Colón los alimentos que requería. Y efectivamente, la Luna desaparecería; en consecuencia, los indígenas aterrizados, pedirían a Colón traer la Luna de nuevo. Este incidente ilustraría cómo el conocimiento de los fenómenos espaciales ayudaría en la construcción de las jerarquías humanas del poder. En el caso mencionado, el conocimiento de la mecánica celeste permitiría a Colón la pretensión de ser capaz de predecir el futuro y, por tanto, de estar en relación con los poderes celestiales. Por ende, desde que existe la humanidad, hombres y mujeres habrían dirigido sus miradas a los cielos, influyendo el espacio exterior en casi todos los aspectos de la vida humana, se sea consciente de ello o no.

Efectivamente, el espacio nunca fue visto en la antigüedad como una esfera autónoma y distante; los cielos eran el lugar de los dioses, de la vida futura y del destino, razón por la que la astrología y la astronomía iban de la mano en Babilonia, Egipto, China, India, América y la Europa del Renacimiento. Por ello, cualquier logro cultural estuvo relacionado de alguna manera con la capacidad del ser humano de "leer las estrellas", ya que al comenzar a comprender que el cielo se constituía en una fantástica máquina del tiempo, las civilizaciones pudieron planificar y predecir (el nacimiento de Jesús fue anunciado a través de una estrella). No en vano, la construcción de los calendarios se encontraría entre los más importantes logros de la historia, ya que per-

mitió a la humanidad establecerse, vivir una vida más sedentaria, plantar, crecer y tener tiempo libre para perseguir otros deseos y ambiciones. Por ende, el “poder de las estrellas” daría forma a la existencia, permitiéndole al ser humano comprender quién era, de dónde provenía y hacia qué lugar debería dirigirse. Esa es la dimensión cultural del espacio; un logro fascinante de la evolución humana.

En resumen, fascinación, ignorancia, sumisión y superstición, se conjugarían en una gran mezcla de variables a las que podía sacarse provecho. La fascinación es poderosa, ya que se constituye en motor del descubrimiento humano; la humanidad encontraría fascinante lo que no podría obtener, así como aquello que estaría más allá de su comprensión; y el Universo se adaptaría a todas estas categorías. La fascinación atribuida al espacio exterior se alimentaría de lo inexplicable y lo misterioso, y en la actualidad, una buena parte de la fascinación con relación al espacio ultraterrestre se inspiraría en el conjunto de nuevos descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos cuyas aplicaciones impactarían las condiciones y oportunidades de la vida contemporánea, así como de las perspectivas del futuro inmediato. Y uno de los acontecimientos más importantes de los últimos 62 años habría sido la capacidad de situar astronaves en órbitas exteriores a la atmósfera terrestre para el cumplimiento de muy variadas misiones. Además de tener una fascinación propia, la era de los vuelos espaciales ha traído una inmensa ventaja también para la astronomía, abriéndose literalmente una nueva ventana para estudiar el espacio exterior, ya que los satélites sacan provecho de encontrarse fuera del molesto velo de la atmósfera, y las sondas espaciales interplanetarias puede acceder ahora a algunos objetos de interés que antes no estaban al alcance de la humanidad.

2. La Carrera Espacial

2.1 Antecedentes

Al parecer, los chinos fueron los primeros en usar cohetes propulsados con pólvora como un instrumento de guerra y para fuegos artificiales, hacia el 904 d.C. Para el año 1232 de la era cristiana, los ejércitos en China ya usarían estas “flechas de fuego” contra los mongoles que estaban asediando la ciudad de Kai-fung-fu, y según una antigua leyenda de principios del siglo XV, el oficial chino Wan-Hoo intentaría volar a la Luna utilizando una silla a la que se sujetaron cuarenta y siete cohetes (después de la ignición y cuando el humo se había disipado, la silla y Wan-Hoo habían desaparecido) (Zhen, 2000).

Por su parte, los científicos europeos experimentarían con la tecnología de cohetes entre los siglos XIII y XV, usándolos principalmente como armas de fuego. En la batalla de Guntur en 1780, las fuerzas indias hicieron un uso extensivo de cohetes en contra de los británicos, así como durante la guerra británico-estadounidense de 1812, en donde la Royal Navy bombardearía con cohetes el Fuerte McHenry en Baltimore (Mayer, 2011). En 1844, William Hale mejoraría enormemente la precisión de los cohetes al agregar una combinación de aletas de cola y boquillas pequeñas para dar un giro estabilizador al artefacto durante el vuelo. Desde entonces, la tecnología militar europea vería misiles reemplazados por artillería y nuevamente por misiles, dependiendo de las capacidades de ataque de cada tecnología.

A principios del siglo XX surgirían varios científicos importantes de cohetes, entre ellos Konstantin Tsiolkovsky y Robert Goddard, todos ellos inspirados en la literatura de ciencia ficción que había sido escrita en el siglo XIX, como la novela "De la Tierra a la Luna", una de las primeras obras literarias sobre viajes espaciales publicada por Jules Verne en 1865⁸. Sin embargo, los efectos principales de tal obra devendrían 30 años después, cuando una nueva generación leyó la novela, entre ellos el autor inglés H.G. Wells, quien escribiría asimismo "La guerra de los mundos" en 1898. En la época de Verne y Wells, muchas personas de Europa occidental y Estados Unidos tenían ideas de cohetes, propulsores y cápsulas que eran solo eso: ideas. Pero incluso entonces, había un puñado de hombres en todo el mundo que trabajaban con entusiasmo en los cohetes destinados a fines más prácticos, que el de aparecer en las páginas de novelas de ciencia ficción.

A la cabeza en el impulso hacia el espacio se encontraba Konstantin Tsiolkovsky nacido en 1857, quien se sintió atraído por la ciencia desde una edad temprana, influenciado inicialmente por el trabajo de Jules Verne. Tsiolkovsky y los que lo siguieron, aplicaron la tercera ley del movimiento del científico inglés Sir Isaac Newton al estudio de los cohetes y la ciencia, en donde por cada acción, habría una reacción igual y opuesta. Esta ley significaba que el poder creado por el gas y los humos de un cohete se movería hacia atrás y que el cohete avanzaría con la misma fuerza. En consecuencia, Tsiolkovsky elaboró la teoría y el principio del cohete de múltiples etapas en 1903, publicando un informe que sugería el uso de propelentes líquidos para cohetes, con el fin de lograr un mayor rango (Kojevnikov, 2011).

8. El libro *De la Terre à la Lune, Trajet direct en 97 heures*, describía con detalle científico los desafíos que habría que resolver para lograr enviar un objeto a la Luna. El título original de la novela incluía la estimación que el autor hacía de la duración del trayecto (97 horas), es decir, cuatro días y una hora. Lo interesante sería que un siglo y cuatro años después, la NASA realizaría el primer viaje tripulado a la Luna, con una duración de cuatro días.

Posteriormente, el interés en la tecnología de cohetes sería retomado por los militares durante la Primera Guerra Mundial; por ejemplo, fuerzas francesas utilizarían cohetes para atacar globos de observación enemigos. Asimismo, Estados Unidos contrataría a Robert Goddard para el desarrollo de misiles durante la Gran Guerra (Mayer, 2011), y con el apoyo financiero de la Fundación Guggenheim, continuaría su trabajo hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando nuevamente fue empleado por los Estados Unidos para trabajar en cohetes RATO (Rocket Assisted Take-Off). Nacido en Massachusetts en 1882, Goddard escribió en 1919 un artículo para la revista *Smithsonian*, que especulaba sobre la posibilidad de un vuelo espacial (una idea extraída de la lectura de “La guerra de los mundos”, así como del libro de Hermann Oberth sobre viajes en cohete al espacio exterior de 1923, que inspiraría a toda una generación de entusiastas del espacio).

Como resultado, Goddard utilizaría oxígeno líquido y gasolina como propulsores para su primer lanzamiento de cohete de combustible líquido, parcialmente exitoso, el 16 de marzo de 1926 y, posteriormente diseñaría, construiría y lanzaría una gran cantidad de cohetes para el gobierno de los Estados Unidos, entre 1932 y 1945, en el desierto de Nuevo México (Lehman, 1963). De modo que, al momento de su muerte en agosto de 1945, Goddard tuvo la fortuna de saber que los cohetes habían pasado de una idea divertida a una ciencia genuina, por lo que la ciencia ficción (inspirada en Julio Verne, H. G. Wells y Hermann Oberth), se había convertido en un hecho científico en manos de hombres como Tsiolkovsky y él mismo.

Mientras tanto, el ejército alemán desarrollaría un nuevo interés en la tecnología de cohetes, debido a que si bien el Tratado de Versalles prohibía la artillería pesada, no tenía claras disposiciones sobre el uso de misiles; por ende, cuando los nazis llegaron al poder en Alemania, acelerarían el desarrollo de la tecnología de misiles reclutando expertos de las numerosas sociedades espaciales y de cohetes, como el científico Wernher von Braun, creador del misil balístico A4/V-2 (Spangenburg y Moser, 1995). Sin embargo, al finalizar la Segunda Guerra Mundial, Wernher von Braun y su equipo se rendirían a las fuerzas estadounidenses, junto con el conocimiento científico alemán con relación a esta tecnología, que sería posteriormente aprovechado por las fuerzas militares de los Estados Unidos. Al mismo tiempo, las fuerzas británicas utilizarían el conocimiento de varios ingenieros alemanes y se apoderarían de cohetes V-2 durante la Operación Backfire⁹, al igual que la Unión Soviética, que gracias a la información

9. La Operación Backfire fue una maniobra científica militar para adquirir tecnología alemana. Los estadounidenses ya habían retirado la mayor parte de la tecnología de cohetes V2 de la fábrica subterránea alemana de Mittelwerk, en el campo de concentración Mittelbau-Dora, cerca de Nordhausen. Por tanto, antes de que los soviéticos tomaran el control de esa área, los británicos tuvieron la oportunidad de reunir material, pudiendo ensamblar piezas suficientes para construir ocho cohetes V2.

científica obtenida, desarrollaría uno de los programas de cohetes más avanzados. En conclusión, a partir de la década del 50, Estados Unidos, Reino Unido y la Unión Soviética usarían cohetes derivados del V-2 para la investigación de la atmósfera superior y el desarrollo adicional de misiles balísticos para propósitos militares.

2.2 La Era Espacial del Siglo XX

La era espacial iniciaría formalmente en 1957, durante la celebración del Año Geofísico Internacional, un ejercicio de 18 meses de duración que representaría el mayor esfuerzo de investigación cooperativa llevado a cabo hasta ese momento (más de 70 Estados), en torno al estudio del planeta Tierra y del Sistema Solar. Se eligió el año 1957, porque coincidía precisamente con el de máxima actividad solar, lo cual generaba gran interés para algunas investigaciones en el campo de la geofísica, entre las que destacaba el estudio de las "auroras boreales, rayos cósmicos, geomagnetismo, glaciología, gravedad, física de la ionosfera, determinaciones de la longitud y la latitud, meteorología, oceanografía, sismología y actividad solar" (Millán, 2000, p. 207).

Empero, el acontecimiento más sensacional durante el Año Geofísico Internacional sería la puesta en órbita del primer satélite artificial, el *Sputnik 1*, cuyo lanzamiento el 4 de octubre de 1957, inauguraría oficialmente la carrera espacial del periodo de Guerra Fría. En efecto, la Unión Soviética y los Estados Unidos tenían la intención de enviar satélites a órbita en algún momento durante el Año Geofísico Internacional, siendo los soviéticos los primeros en lograrlo. Llamado *Sputnik* (compañero de viaje), este satélite soviético de aluminio de 84 kilogramos de peso viajaría a 28.000 kilómetros por hora, orbitando la Tierra cada 96 minutos durante tres semanas, tiempo en el cual transmitiría por radio datos atmosféricos a la Tierra (Willard, 2007).

Ante este acontecimiento, los estadounidenses se mostraron nerviosos y absolutamente aprensivos sobre su futuro, ya que una de las creencias centrales que impulsaba a la sociedad estadounidense en aquel momento, era la idea de que los científicos e ingenieros norteamericanos eran los más capaces y preparados del mundo; y, justo cuando se estaban acostumbrando a la idea de que los rusos los habían superado, se sorprendieron nuevamente al enterarse que el *Sputnik 2* (lanzado el 3 de noviembre de 1957), pesaba más de 453 kilogramos y llevaba un perro (llamado Laika), con el objetivo de probar cómo reaccionarían los seres vivos al desafío de la ingravidez (Siddiqi, 2000).

Después de que los rusos lanzaron el *Sputnik 2*, el presidente de los Estados Unidos, Dwight Eisenhower, se sintió obligado a aliviar las preocupaciones de su nación a tra-

vés de un discurso televisivo, solo cuatro días después del lanzamiento del segundo *Sputnik*:

Sabemos de su riguroso sistema educativo y sus logros tecnológicos. Pero vemos que todo esto sucede bajo una filosofía política que pospone una y otra vez la promesa a cada hombre de que se le permitirá ser él mismo y disfrutar según sus propios deseos, el fruto de su propio trabajo. Hace mucho que hemos tenido pruebas recientemente, pruebas muy dramáticas, de que incluso bajo un sistema así es posible producir algunos logros materiales notables. Cuando tal competencia en las cosas materiales está al servicio de los líderes que tienen tan poca consideración por las cosas humanas, y que controlan el poder de un imperio, hay peligro para los hombres libres en todas partes (Eisenhower, como se citó en Witkin, 1958, p. 36).

Si bien Eisenhower admitió la importancia de los logros soviéticos, insinuó mayores logros estadounidenses por venir, solicitando un renovado esfuerzo estadounidense en las áreas de ciencia, tecnología y educación superior:

Deberíamos, entre otras cosas, tener un sistema de pruebas a nivel nacional de estudiantes de secundaria; un sistema de incentivos para que los estudiantes de alta aptitud persigan estudios científicos o profesionales; un programa para estimular la enseñanza de buena calidad de las matemáticas y las ciencias; provisión de más instalaciones de laboratorio, y medidas, incluidas becas, para aumentar la producción de docentes calificados (...) necesitamos científicos. En los próximos diez años, dicen que los necesitamos por miles más de los que ahora planeamos tener (Eisenhower como se citó en Witkin, 1958, p. 40).

Con base en lo anterior, si las escuelas secundarias y universidades estadounidenses querían continuar recibiendo ayuda financiera del gobierno federal, tendrían que producir más científicos e ingenieros, y, por tanto, menos sociólogos, filósofos o abogados. Pero, aunque el presidente Eisenhower quería más científicos, todos sabían que dicho esfuerzo tardaría años en materializarse, por lo que Estados Unidos tendría que confiar por el momento en las mujeres y los hombres que ya venían trabajando en sus departamentos científicos. En este orden de ideas, la Marina de los Estados Unidos y la Fundación Nacional de Ciencia habían estado trabajando en su programa satelital denominado *Vanguard*, y luego, en un trabajo mancomunado entre las fuerzas militares y el Laboratorio de Propulsión a Chorro, en el desarrollo del satélite *Explorer*¹⁰.

10. El Ejército de los Estados Unidos había estado experimentado con cohetes desde 1945, cuando detuvo a unos 100 prisioneros.

En consecuencia, para enero y febrero de 1958¹¹, Estados Unidos lanzaría sus primeros satélites, el *Explorer 1* y el *Explorer 2*. La primera etapa después del despegue del *Explorer 1* levantó el misil 96 kilómetros en los primeros 150 segundos, siguiendo un vuelo costero de unos 240 segundos; luego, la dramática segunda etapa elevó el cohete hasta 321 kilómetros sobre la tierra. Finalmente, los intervalos de la tercera y cuarta etapa llevaron al cohete al doble de la altura y pusieron el pequeño satélite en órbita a 28.968 kilómetros por hora (Harvey, 2018). Con el *Explorer 2*, los científicos estadounidenses detectaron que, a 965 kilómetros sobre la tierra, los niveles de radiación eran 150 veces más altos que los aceptables para los humanos; además, descubrieron que había una serie de cinturones en la esfera de radiación que ayudaban a proteger la atmósfera de la tierra de la radiación solar.

Para 1959, los Estados Unidos también colocarían en órbita el primer satélite espía del programa *Corona*, que consistió en una serie de satélites de reconocimiento estratégico estadounidenses producidos y operados por la Agencia Central de Inteligencia, con una asistencia sustancial de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Los satélites *Corona* se usaron para la vigilancia fotográfica de la Unión Soviética, la República Popular de China y otras áreas, desde junio de 1959 hasta mayo de 1972. El programa comenzaría bajo el nombre de *Discoverer*, como parte del programa de reconocimiento y protección del satélite WS-117L de la Fuerza Aérea Estadounidense, a partir de las recomendaciones y diseños de *RAND Corporation*. Los satélites *Corona* utilizaron una película especial de 70 milímetros, con una cámara de longitud focal de 24 pulgadas (610 mm); fabricada por *Eastman Kodak*, la película era inicialmente de 0,0003 pulgadas, con una resolución de 170 líneas por 0.04 pulgadas (1.0 mm) de película. El contraste fue de 2 a 1; en comparación, la mejor película de fotografía aérea producida en la Segunda Guerra Mundial generaba solo 50 líneas por mm de película¹².

neros alemanes de alto nivel después de la Segunda Guerra Mundial. Esos alemanes, que habían trabajado en el programa de cohetes V-2 de Hitler, pasaron un tiempo en una isla en el puerto de Boston antes de ser trasladados a White Sands, Nuevo México, para formar el núcleo de un nuevo programa de misiles de los Estados Unidos. Para 1949, ya instalados en Alabama, habían desarrollado los inicios de un programa de misiles estadounidense y, una vez que el Vanguard TV3 se estrelló contra el suelo el 6 de diciembre de 1957, fue el turno del Ejército de los Estados Unidos de intentar lanzar un satélite al espacio.

11. La brecha percibida entre los programas espaciales de los Estados Unidos y la Unión Soviética llevaría a los estadounidenses a acelerar sus esfuerzos, dando como resultado el establecimiento de la Agencia Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) en 1958.

12. La película se recuperaba de la órbita a través de una cápsula de reentrada diseñada por *General Electric*, que se separaba del satélite y caía a tierra. Después de que finalizaba el intenso calor de la reentrada, el escudo térmico que rodeaba el vehículo se desechaba a 18 km, desplegándose un sistema de paracaídas. La cápsula estaba destinada a ser atrapada en el aire por un avión, remolcando una garra aerotransportada; no obstante, después de que se informara sobre el aterrizaje accidental de un vehículo de reentrada y su descubrimiento por parte de unos agricultores venezolanos a mediados de 1964, las cápsulas ya no se etiquetaban como "secreto", sino que se ofrecía una recompensa en ocho idiomas por su regreso a los Estados Unidos.

Posteriormente, para 1961, Yuri Gagarin se convertiría en el primer hombre en el espacio, seguido un mes después por el estadounidense Alan Shepard¹³; por ende, hacia la primera mitad de la década de 1960, a través de los programas soviéticos *Vemink* y *Vozhod*, y los estadounidenses *Mercury* y *Gemini*, ambas superpotencias obtendrían una valiosa experiencia en vuelos espaciales tripulados¹⁴. De igual modo, Canadá, Gran Bretaña y Francia lanzarían sus primeros satélites, uniéndose al “club” de Estados con la capacidad y la voluntad de llegar al espacio exterior.

Durante la década de 1960, los soviéticos y norteamericanos también concentraron sus esfuerzos en un aterrizaje tripulado en la Luna, con los soviéticos a la delantera (al menos en un principio). En 1959, la sonda espacial soviética *Luna 2* se convirtió en el primer objeto hecho por el hombre en golpear la Luna, y en 1966, la nave espacial soviética no tripulada *Luna 9* realizó el primer aterrizaje suave en la Luna (Siddiqi, 2000). Como consecuencia de la probada ventaja soviética en la carrera espacial hasta finales de la década de los 50, el presidente John F. Kennedy (con tan sólo cuatro meses en la Casa Blanca), se dirigió el 25 de mayo de 1961 a una sesión conjunta del Congreso de los Estados Unidos para pronunciar un segundo discurso del Estado de la Unión sobre “Necesidades Nacionales Urgentes”, ante senadores y representantes estadounidenses (así como a una audiencia televisiva nacional). Kennedy declararía: “creo que esta Nación debería comprometerse a lograr el objetivo, antes de que termine esta década, de aterrizar a un hombre en la Luna y devolverlo a la Tierra de manera segura” (Logsdon, 2010, p. 1).

16 meses después de su discurso del Estado de la Unión, y ante una multitud de 40.000 personas congregadas en la Universidad Rice de Houston, Kennedy pronunciaría su discurso espacial más memorable, al justificar el esfuerzo de viajar a la Luna:

Elegimos ir a la Luna en esta década y hacer otras cosas, no porque sean fáciles, sino porque son difíciles, porque ese objetivo servirá para organizar y medir lo mejor de nuestras energías y habilidades, porque ese desafío es uno que esta-

13. Existen diferentes criterios para determinar quién ha logrado el vuelo espacial humano. La *Fédération Aéronautique Internationale* (FAI), define el vuelo espacial como cualquier vuelo que supere los 100 kilómetros sobre el nivel del mar, una definición reconocida por la mayoría de los países. En contraste, en la década de 1960, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos otorgó la calificación de “astronauta”, a los pilotos militares y civiles que volaron aviones a más de 80 kilómetros del nivel del mar. No obstante, siguiendo el criterio de la FAI, al 17 de junio de 2018, un total de 561 personas de más de 38 nacionalidades han ido al espacio; hasta el año 2013, 533 personas alcanzaron la órbita terrestre, 24 viajaron más allá de la órbita terrestre baja y 12 caminaron en la Luna. Los viajeros espaciales han pasado más de 29.000 días-hombre (o un total acumulado de más de 77 años) en el espacio, incluyendo más de 100 días-hombre de paseos espaciales.

14. Dentro los hitos espaciales durante la década de 1960, cabría destacar también que el avión cohete *X-15* alcanzaría el espacio en vuelo horizontal y el satélite estadounidense *Telstar* permitiría la primera transmisión transatlántica de señales de televisión, desde los Estados Unidos hacia Gran Bretaña y Francia. Asimismo, en 1962, el *Mariner 2* realizaría el primer sobrevuelo interplanetario al pasar por el planeta Venus.

mos dispuestos a aceptar, uno que no estamos dispuestos a posponer, y uno que pretendemos ganar (Kennedy, como se citó en Logsdon, 2010, p. 1).

A pesar de que la decisión de enviar astronautas a la superficie lunar se tomó durante la administración Kennedy, el presidente habría sido un candidato muy poco probable para decidir enviar estadounidenses a la Luna, ya que había mostrado poco interés en cuestiones espaciales en su tiempo como senador por el partido demócrata, o durante su campaña presidencial. Según Sidey (1964), quien tuvo estrechos vínculos con Kennedy, “de todos los principales problemas que enfrentó Kennedy cuando llegó al cargo de presidente, probablemente era sobre el espacio el que menos sabía y entendía” (p. 98).

Empero, solo tres meses después de su toma de posesión y después de que la Unión Soviética enviara al cosmonauta Yuri Gagarin al espacio, Kennedy pidió a sus asesores un programa espacial que prometiese resultados dramáticos en los que Estados Unidos pudiese ganar, y la respuesta llegaría menos de tres semanas después: enviar astronautas a la superficie de la Luna como un impresionante logro espacial para vencer a los soviéticos. Por consiguiente, y como preparación para las misiones tripuladas a la Luna, la NASA lanzaría las misiones no tripuladas *Ranger*, *Surveyor* y *Lunar Orbiter*; y tanto los Estados Unidos como la Unión Soviética desarrollarían las naves tripuladas *Apolo* y *Soyuz*, respectivamente. En diciembre de 1968, el *Apolo 8* se convirtió en la primera nave espacial tripulada en orbitar la Luna, y el 21 de julio de 1969 el *Apolo 11* aterrizó en la Luna, convirtiendo a Neil Armstrong y Buzz Aldrin en los primeros seres humanos en poner un pie en otro cuerpo celeste (Mayer, 2011).

A principios de la década de 1970, también entraron a la carrera espacial Japón y China, quienes lanzarían sus primeros satélites. Mientras tanto, a partir de 1972, la Unión Soviética lanzaría varias estaciones espaciales de la serie *Salyut*, mientras los Estados Unidos lanzaban la estación espacial *Skylab*. En 1973, la NASA comenzaría el desarrollo de un transbordador espacial reutilizable y lanzaría el *Pioneer X* (la primera nave espacial que abandonó el Sistema Solar). En 1975, fue fundada la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), y en el mismo año, una nave espacial *Apolo* atracó con su homóloga *Soyuz* en órbita, anunciando un futuro promisorio en materia de cooperación espacial entre ambas superpotencias. En 1977, las sondas *Voyager 1* y *Voyager 2* comenzaron su gran recorrido por el Sistema Solar, al tiempo que las *Viking 1* y *Viking 2* aterrizaban en Marte, brindando a los científicos oportunidades únicas para obtener un mayor conocimiento sobre otros cuerpos celestes (Mayer, 2011). Para 1979, la ESA lanzaba su primer cohete *Ariane*, y la India su primer satélite.

Hacia la década de los 80 se llevaría a cabo el primer vuelo de un transbordador espacial, en 1981. Asimismo, la ESA desarrollaría el módulo espacial *Spacelab*, que podría caber en el compartimento de carga del transbordador espacial de la NASA, con el fin de crear un espacio de trabajo adicional para la investigación científica. En 1984, el presidente Ronald Reagan anunció la intención de construir la estación espacial *Freedom* (que eventualmente se convertiría en la Estación Espacial Internacional), y en 1986 la estación espacial soviética *Mir* sería lanzada al espacio¹⁵. Los años 80 también verían nuevos pasos hacia la militarización del espacio; además del Programa de Defensa de Misiles (SDI, por sus siglas en inglés), la Fuerza Aérea de los Estados Unidos desarrollaría el Misil Antisatélite *ASM-135* (ASAT, por sus siglas en inglés), probándose por primera vez en 1985. La década de 1980 también sería testigo del surgimiento de dos nuevos actores del espacio: Israel lanzaría su programa espacial militar y ayudaría a Sudáfrica a establecer uno por su cuenta. Posteriormente, la Guerra del Golfo Pérsico se establecería como un evento importante en la historia de las aplicaciones espaciales militares, ya que los satélites de comunicaciones estadounidenses y británicos, así como los de reconocimiento y alerta temprana, desempeñarían, a partir de 1991, un papel importante en prácticamente todas las operaciones militares¹⁶.

En 1990, el telescopio espacial *Hubble* se colocaría en órbita¹⁷, y en 1993, la tripulación del transbordador *Endeavour* realizaría varios paseos espaciales para repararlo. También durante esa década, muchos astronautas internacionales trabajarían en la estación espacial *Mir*; el programa más notable fue el *Shuttle-Mir*, que permitió a los astronautas de los Estados Unidos adquirir una valiosa experiencia en misiones espaciales de larga duración. En 1995, la sonda espacial *Galileo* llegaría a Júpiter, y dos años más tarde, el módulo de aterrizaje *Mars Pathfinder* y el vehículo que lo acompañaba, aterrizaron en Marte. En 1998, el primer segmento de la Estación Espacial Internacional se puso en órbita, y un año más tarde, la *Sea Launch Company* (un consorcio internacional liderado por Boeing creado para lanzar satélites desde una plataforma en el Océano Pacífico), realizó su primer lanzamiento de prueba.

15. Desafortunadamente, ese mismo año, el transbordador espacial *Challenger* explotaría trágicamente poco después del despegue, muriendo los siete astronautas a bordo.

16. Incluso durante la Guerra de las Malvinas de 1982, las fuerzas militares británicas se beneficiaron en gran medida del uso de los servicios por satélite.

17. El observatorio orbital consiste esencialmente en un telescopio óptico cuyo espejo primario tiene un diámetro de 2,4 metros; consta de cinco instrumentos científicos para analizar las radiaciones que les hace llegar el telescopio y que van desde el infrarrojo próximo hasta el ultravioleta medio.

2.3 La Era Espacial del Siglo XXI

Un nuevo punto de inflexión en la historia de la carrera espacial se daría en 2001, cuando el empresario estadounidense Dennis Tito se convirtió en el primer turista espacial que pagó y visitó la Estación Espacial Internacional, dando visibilidad a un aparente "nuevo" actor del espacio: el sector privado¹⁸. Pero en 2003 se produjo un gran revés, cuando el transbordador espacial *Columbia* se desintegró al volver a la Tierra, matando a los siete astronautas a bordo (incluyendo al primer astronauta israelí, el coronel Ilan Ramon). Sin embargo, ese mismo año, Yang Liwei se convertiría en el primer "taikonauta"¹⁹ chino que orbitara la Tierra en la nave espacial *Shenzhou 5*. En enero de 2004, los dos *rover* de exploración marcianos *Spirit* y *Opportunity* comenzaron a explorar el planeta rojo, al tiempo que George W. Bush anunciaba la puesta en marcha del programa *Constellation*, que contemplaba misiones tripuladas a la Luna y Marte; ese mismo año, *SpaceShipOne*, la pionera nave espacial tripulada de financiación privada, realizaba su primer vuelo.

En 2006, la NASA lanzaba la nave espacial *New Horizons*, con el objetivo de estudiar el planeta enano Plutón en 2015. Este evento estableció un registro para la exploración detallada más lejana de un objeto del Sistema Solar. La sonda continuó su viaje hacia el espacio profundo, visitando en enero de 2019 a "Ultima Thula", una roca congelada a 6,5 mil millones de kilómetros de la Tierra, localizada en el "cinturón de Kuiper", la banda de material congelado que orbita alrededor del Sol a más de 2 mil millones de kilómetros del planeta Neptuno (el octavo de los planetas clásicos), e incluso a 1.5 mil millones de kilómetros más allá del planeta enano Plutón (figura 1).

18. Como puede constatarse en la carrera espacial del siglo XX, empresas privadas jugaron un papel importante en los esfuerzos estadounidenses por alcanzar y usufructuar el espacio, cómo *Boeing* y *General Electric*.

19. En Occidente, a un viajero espacial de China se le llama "taikonauta", basado en los escritos de Chiew Lee Yik y Chen Lan, donde el término *tàikōng* (gran vacío), significa "espacio" en chino. No obstante, en China, el término *yuháng yuán* (navegador del Universo) se usa para el viajero espacial. Por su parte, un "astronauta" es cualquier persona entrenada por la NASA para viajar y realizar tareas en el espacio; este término deriva de las palabras griegas *ástron* (estrella), y *nautis* (marinero). Mientras que, en la Federación Rusa, un viajero espacial recibe el nombre de *космонавт* o "cosmonauta", que se deriva de las palabras griegas *kosmos* (Universo), y *nautis* (marinero). Por su parte, en Francia, a un viajero espacial se le llama *spationaute* o "espacionauta", que se deriva del latín *spatium* (espacio), y griego *nautis* (marinero).

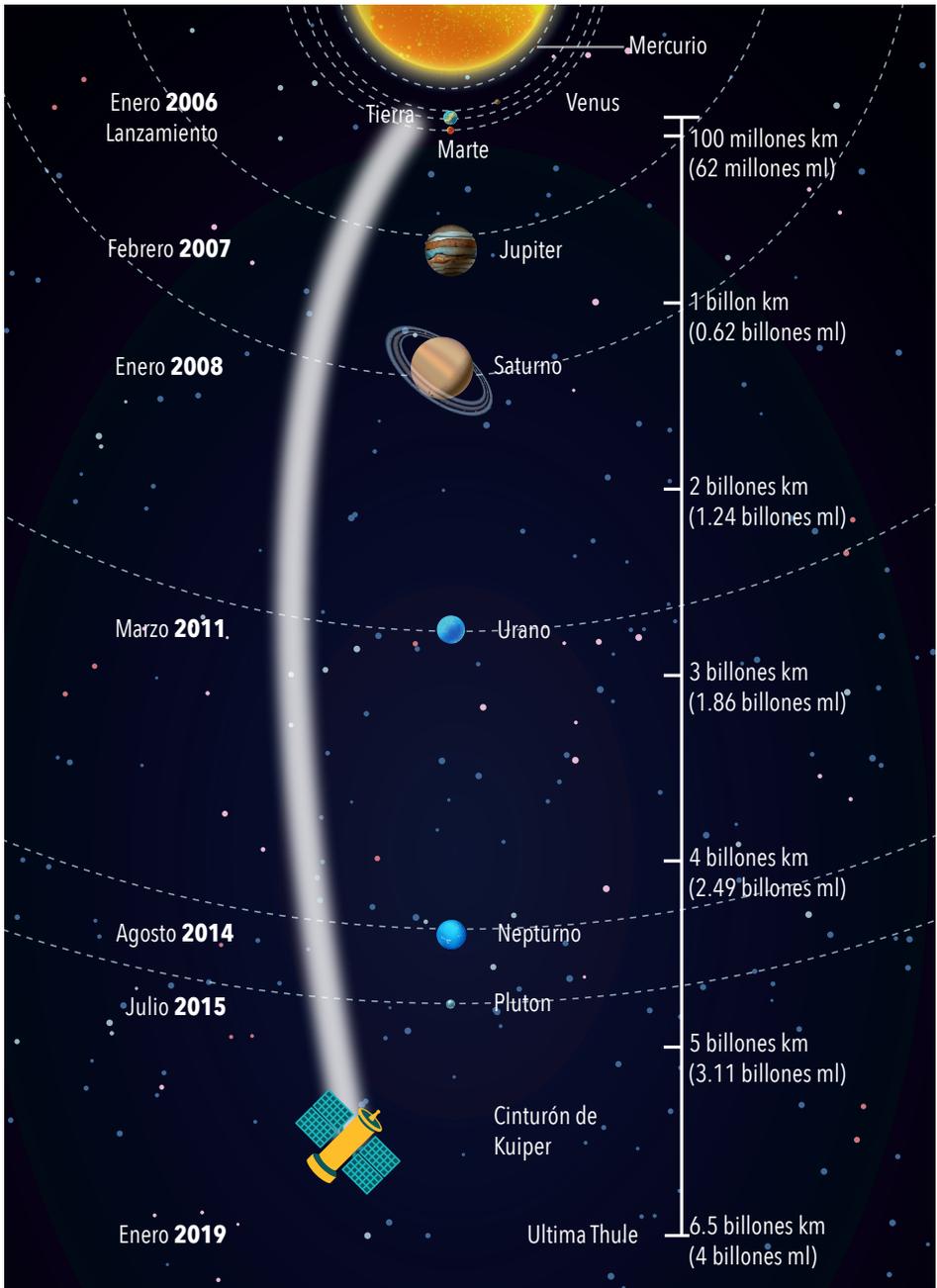


Figura 1. Trayectoria de New Horizons a enero de 2019
Fuente: Siddiqi (2018, p. 244)

La esperanza es que el curso de la nave espacial pueda modificarse ligeramente para visitar al menos un objeto más del cinturón de Kuiper durante la próxima década, gracias a que *New Horizons* debería tener suficientes reservas de combustible para poder hacerlo (Siddiqi, 2018); la longevidad de la batería de plutonio podría incluso permitirle registrar su salida del Sistema Solar. Las dos misiones *Voyager* de la década de 1970 ya han abandonado la heliosfera (la burbuja de gas expulsada del Sol y que marcaría la frontera del dominio del Sistema Solar), siendo la *Voyager 2* la última en lograrlo, en noviembre de 2018. No obstante, *New Horizons* nunca igualará a las *Voyagers* en términos de distancia recorrida desde la Tierra, ya que, si bien fue la nave espacial más rápida lanzada en 2006, continúa perdiendo terreno frente a las misiones más antiguas (en razón a que las *Voyagers* obtuvieron un aumento de velocidad gravitacional cuando pasaron los planetas exteriores)²⁰.

En 2007 se lanzó *Dawn*, la primera nave espacial con motor de iones que visitó dos cuerpos celestes del Sistema Solar. En diciembre de 2009, la NASA lanzó por primera vez el sucesor previsto para el transbordador espacial, el *Ares 1*. En abril de 2010, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos lanzó el avión espacial militar *X-37*, mientras que, durante la primera década del siglo XXI, Brasil continuó sus esfuerzos para lanzar un satélite por su cuenta y surgieron varias empresas privadas en ese campo, especialmente *SpaceX* con su lanzador de satélites *Falcon 1*.

Por su parte, China lanzó en 2011 su primer laboratorio espacial, *Tiangong 1*, cuyo nombre se traduce del mandarín como "palacio celestial", siendo visitado por los taikonautas chinos en 2012 y 2013; terminaría su vida operativa en marzo de 2016, volviendo a la Tierra en 2017. Para reemplazarlo, China envió su segundo laboratorio espacial de 10,4 metros de largo en 2016: *Tiangong 2*, de 9.5 toneladas (8.6 toneladas métricas). Cuenta con habitaciones mejoradas e infraestructura de soporte vital, lo que facilitaría las estadías más largas de los miembros de la tripulación visitantes. El laboratorio espacial ascenderá a una altura de 393 kilómetros, la misma en la que operará la futura estación espacial de China para 2022, de 60 toneladas (54 toneladas métricas) o más²¹. Como se tiene previsto que la ISS deje de funcionar en 2024, la estación espacial china dirigida por los militares, ofrecerá una alternativa prometedorra, convirtiendo a este país en el único en tener una estación espacial permanente; asimismo, los científicos chinos estarían fabricando un telescopio tipo *Hubble*, para que orbite cerca de la estación espacial planeada.

20. Mientras que *Voyager 1* ahora se está desplazando a casi 17 km/s, *New Horizons* lo estaría haciendo a 14km/s.

21. A modo de comparación, la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés), que ha alojado a las tripulaciones de astronautas en rotación de forma continua desde noviembre de 2000, pesa alrededor de 440 toneladas (400 toneladas métricas). Cabe destacar que China no forma parte del consorcio internacional que opera la ISS.

En noviembre de 2014 la NASA, junto con la ESA, volvía a hacer historia al conseguir que la sonda *Philae* aterrizase sobre el cometa *Rosetta*; este hito confirmó la existencia de compuestos orgánicos en la superficie del cometa, considerados precursores de la vida (Sidiqqi, 2018). A su vez, Japón lanzó en 2014 la sonda *Hayabusa 2* del Centro de Lanzamiento de Tanegashima en el extremo sur de Japón. Llevaba una serie de cargas útiles de instrumentos para la recopilación de muestras de roca y suelo del asteroide *Ryugu*, el cual alcanzó en junio de 2018. El 21 de septiembre del mismo año, *Hayabusa 2* lanzó dos *rovers* en *Ryugu*, que rápidamente devolvieron imágenes y el primer video enviado desde la superficie de un asteroide; asimismo, el 5 de abril de 2019 detonaría una carga explosiva que perforó un cráter en *Ryugu*, para recolectar rocas frescas que no han sido alteradas por eones de exposición al ambiente del espacio. Se esperaría que *Hayabusa 2* regrese a la Tierra en 2020 junto con su tesoro rocoso.

En 1996 comenzaría la planificación por parte de la NASA, en colaboración con 17 países y sus diferentes agencias espaciales, para la creación del telescopio espacial que sustituiría al *Hubble*; el proyecto es conocido como *James Webb Space Telescope* (JWST), y su ensamblaje estaría casi por terminar. El JWST es al día de hoy el proyecto más costoso de la NASA, con un presupuesto de US\$8.000 millones, y su montaje sería uno de los más complejos realizados por el hombre en el espacio exterior, ya que una vez que sea lanzado en 2021, su despliegue sería algo similar al de una pieza de origami en el espacio, a 1.5 millones de kilómetros de la Tierra (lo que lo haría inalcanzable para que los astronautas puedan repararlo en caso de alguna avería). Su tamaño total y peso será de la mitad del *Hubble*, pero su espejo primario tendrá 6,5 metros, seis veces más grande que el del *Hubble*, lo que permitirá captar la luz de las primeras estrellas y galaxias que han viajado por miles de millones de años hasta nuestro Sistema Solar. Además, será el encargado de sondear las atmósferas de planetas potencialmente habitables fuera de la galaxia de la Vía Láctea²², como *Kepler 452-B* y otros 29 mundos fuera del Sistema Solar.

En definitiva, la carrera por la conquista del espacio ha proporcionado un poderoso instrumento para avanzar en el conocimiento científico del Universo, así como del propio planeta Tierra. En este sentido, los planes espaciales de todos los países y entidades activas en las nuevas tecnologías del espacio, incluirían, aparte de las aplicaciones civiles y militares, importantes programas científicos cuyos resultados continuarían aportando un inmenso caudal de descubrimientos del espacio profundo.

22. La Vía Láctea (que en latín significa "camino de leche"), es la galaxia en donde se encuentra nuestro Sistema Solar y el planeta Tierra; su diámetro medio se estima en unos 200.000 años luz, según los últimos hallazgos. Contendría entre 200.000 y 400.000 millones de estrellas, y la distancia desde el Sol hasta el centro de la galaxia sería de alrededor de 25.766 años luz. La Vía Láctea forma parte de un conjunto de unas cuarenta galaxias llamado Grupo Local, y es la segunda más grande y brillante tras la galaxia de Andrómeda.

Si bien la competencia espacial entre las superpotencias habría demostrado ser un poderoso catalizador de la exploración espacial, no debería ser el principal factor. La cooperación en actividades espaciales tiene una larga tradición, y en la actualidad, los Estados rara vez iniciarían un programa espacial sin participación de alguna entidad extranjera. Las razones para llevar a cabo la cooperación son múltiples, pero básicamente los Estados cooperan cuando esto beneficia sus propios intereses. Una cooperación exitosa requiere la satisfacción de los intereses y necesidades de todos los socios; sin embargo, no todos los Estados consideran importante la cooperación internacional, y algunos (como China), aún preferirían trabajar individualmente en el desarrollo de sus propias capacidades espaciales. No obstante, el hecho de fomentar la cooperación puede ser visto como una necesidad de generar una gran estrategia que promueva el cumplimiento de los objetivos nacionales (Álvarez, Corredor y Vanegas, 2018), particularmente para Estados con un nivel de desarrollo tecnológico menos avanzado, como lo sería el caso colombiano.

3. Teoría del Poder Espacial

Después de casi dos siglos de investigación y siete décadas de práctica real, la noción del vuelo espacial habría entrado en el ámbito del uso maduro de este tipo de tecnología. Al igual que con todas las novedades tecnológicas exitosas, este proceso de maduración se podría destilar esencialmente en cuatro fases (Sterling, 1992): la primera estaría caracterizada por el descubrimiento o la investigación real que resulta en el despliegue de un prototipo que muestre algún potencial técnico que antes no haya sido observado. Con relación a la tecnología espacial, esto correspondería aproximadamente a la era que comenzó a fines del siglo XIX, con los ensayos técnicos de Tsiolkovsky sobre satélites artificiales, así como las pruebas en coherencia de Goddard en las décadas de 1920 y 1930.

La segunda consistiría en clasificar varias propuestas en las que se podría aplicar la nueva tecnología. En el contexto espacial, esto atañería a un periodo que comenzó a fines de la década de 1930, con la adaptación de los cohetes de la *Wehrmacht* alemana a los misiles V-2, y durante la Guerra Fría, en los usos de la tecnología espacial para la observación de la Tierra, comunicaciones, posicionamiento global y exploración científica.

La tercera fase de la madurez tecnológica sería la de aceptación, por lo que el uso de una tecnología ya no se consideraría una novedad. Ésta correspondería al presente,

en el cual el acceso al espacio exterior y sus actividades relacionadas ya no son un dominio exclusivo de un puñado de Estados, sino por el contrario, de un conjunto de ellos, con niveles asimétricos de desarrollo económico y tecnológico, así como de actores privados con significativas capacidades espaciales. A medida que la demanda de servicios espaciales continúe en franco aumento (como por ejemplo, la televisión satelital y las conexiones de alta velocidad a Internet), la absorción de los servicios espaciales como una faceta indispensable de la vida cotidiana del ser humano se volverá inevitable; en efecto, ya es muy difícil imaginar la vida cotidiana sin el uso de teléfonos inteligentes, de información precisa en materia de horario y ubicación, o de pronósticos meteorológicos y comunicaciones confiables desde cualquier ubicación.

La cuarta y última fase sería aquella del uso ubicuo; aunque la utilidad del espacio aún no ha alcanzado esta fase final de madurez, se han dado los primeros pasos puesto que la tecnología es filtrada a través de todos los niveles de la sociedad; la telefonía y la televisión representarían dos tecnologías de este tipo, por cuanto su uso y tenencia en el hogar moderno no solo son ya comunes sino indispensables. No es demasiado difícil imaginar la madurez tecnológica en su forma vaga en algún momento dentro de los próximos 50 años. Si bien ya han aparecido servicios de localización y comunicaciones basadas en el espacio, la minería y el turismo espacial, así como los primeros pasos tentativos hacia la colonización humana del espacio, parecerían estar dentro del ámbito de lo posible en muy poco tiempo.

En consecuencia, y a medida que las actividades espaciales comienzan a madurar, ha iniciado un reconocimiento generalizado de la comunidad internacional con relación a la creciente importancia del espacio exterior; tanto así, que Estados Unidos, China, Rusia y otros actores han llegado a ver a sus industrias espaciales como activos económicos y políticos cada vez más importantes. Por su parte, bajo la dirección de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la comunidad internacional ha venido debatiendo estatutos y reglamentos que regulan las actividades en el espacio ultraterrestre, percibiéndose una oportunidad para la toma de decisiones sin las restricciones del razonamiento de equilibrio bipolar de poder que había caracterizado el periodo de Guerra Fría. Por tanto, ha habido desde la década de 1940, discusiones sobre la necesidad de desarrollar una teoría del poder espacial; y en un intento por formular tal teoría, algunos estrategas han notado las similitudes de las operaciones espaciales con las de las operaciones aéreas y navales. En consecuencia, muchos han intentado derivar una teoría del espacio claramente articulada, que abarcaría todo a través de la analogía y la comparación con los modelos de control aéreo o marítimo.

Pero a pesar de los esfuerzos anteriores para desarrollar una teoría espacial nueva e integral, estrategias como Gray (1996) han lamentado la falta de una teoría que aborde las operaciones espaciales y los intereses nacionales asociados, ya que, sin ese marco estratégico para el espacio exterior, algunos temen que los recursos nacionales y la fuerza militar se utilicen de manera deficiente o incluso contraproducente en su aplicación. En efecto, como resultado del aumento de interés en el espacio exterior, distintos académicos de la comunidad espacial habrían expresado la necesidad de una teoría integral del poder espacial (DeBlois, 1997; Jusell, 1998; Klein, 2004; Klein, 2006; Johnson, 2007; Peoples, 2011; Straub, 2015; Pollpeter, 2016; Johnson, 2017), similar a las teorías estratégicas expresadas por Mahan (1894), Corbett (1911) y otros entusiastas del poder marítimo, así como de las teorías de Douhet (1921), Mitchell (1925) y otros teóricos del poder aéreo.

Según DeBlois (1997), los Estados Unidos ya se perfilaban como una importante potencia marítima a inicios de la Primera Guerra Mundial, posiblemente superada solo por Gran Bretaña; en efecto, gracias a la construcción del Canal de Panamá, al mantenimiento de varias bases en el extranjero, así como de una estructura de fuerza conformada por más de dos docenas de acorazados y una próspera base industrial concentrada en el comercio exterior, los Estados Unidos demostraban su deseo de dominar el hemisferio occidental. Sin embargo, 25 años antes, ese mismo Estado no tenía territorios en el extranjero, solo contaba con unos pocos acorazados modernos, un ejército dispersado en su propia frontera, una economía basada en el comercio interno y una población que todavía se consideraba a sí misma como una democracia de base agraria.

Entonces, ¿qué sucedió para cambiar drásticamente el enfoque estratégico de los Estados Unidos, en un periodo de tiempo relativamente corto? Pues bien, una combinación única de factores contribuiría al surgimiento del poder naval estadounidense durante la primera década del siglo XX. Uno de los principales factores sería la aclamada visión del poder marítimo de Mahan (1894), que proporcionaría un medio operativo claro para que un poder marítimo emergente pudiera alcanzar el estatus internacional. Esa visión resonaría con una cultura estratégica cada vez más consciente de su posición internacional (Álvarez, Ramírez y Castaño, 2018), así como con un joven y dinámico presidente, Theodore Roosevelt, quien reconoció el potencial de los Estados Unidos como líder mundial, así como del mecanismo para lograrlo: el poder marítimo. Y si la popular base teórica de Mahan (1894) y el respaldo presidencial no hubiesen sido suficientes, entonces el crecimiento tecnológico (cañones sin humo, motores de turbina y submarinos), los éxitos navales en la Guerra Hispanoamericana de 1898, así como una creciente amenaza

del poder de la armada alemana en el Pacífico, darían el impulso final a la constitución de una armada norteamericana muy capaz.

Por tanto, Estados Unidos se encontraba a principios de siglo XX en el umbral de la preeminencia del poder marítimo que lo consolidaría en el sistema internacional (Potter, 1981), a partir de las teorías de Mahan (1894) y Corbett (1911), unos recursos necesarios, una economía no comprometida, una inmediata motivación, y una visión común que apoyaba tecnologías específicas. Del mismo modo, los razonamientos de Mitchell (1925) y Douhet (1921), resultarían fundamentales para configurar las fuerzas aéreas de los Estados Unidos, Gran Bretaña, Alemania, Italia y Japón en las décadas del 20 y 30 del siglo XX. En consecuencia, en una encrucijada histórica como la que se experimentaría en la actualidad, algunos estrategas argumentarían que los Estados con presencia en el espacio ultraterrestre, necesitarían una teoría general sobre la cual planificar sus programas nacionales y regular sus industrias espaciales.

No obstante, en su afán por ilustrar el predominio del espacio en asuntos militares y nacionales, muchos entusiastas del espacio han intentado utilizar como analogía al poder aéreo, ya que el lapso relativamente corto en el que se desarrollaron, probaron y refinaron las máquinas voladoras para un uso cada vez más sofisticado, combinado con su reciente posición en la historia, haría que el poder aéreo fuera un modelo atractivo para la comparación, hasta el punto que el actual entorno espacial se compararía a menudo con el entorno aéreo inmediatamente posterior a la Primera Guerra Mundial. Sin embargo, esta comparación fallaría en muchos aspectos; de acuerdo con Bowen (2019), a diferencia de su antecesor aéreo de las décadas de 1920 y 1930, no ha habido guerreros en el espacio, ni armas disparadas desde el espacio contra objetivos terrestres. En cambio, lo que existiría son numerosos sensores no tripulados y relés de comunicaciones que se han convertido en la clave de las fuerzas que operan en los medios de comunicación de tierra, mar y aire, ya que aparte de los comandos para mantener una nave en una órbita deseable, existiría poco control sobre los activos espaciales por parte de las organizaciones espaciales militares de los principales Estados que participan del espacio ultraterrestre²³.

23. Por ende, en lugar de comparar el espacio con el estado de guerra aérea posterior a la Primera Guerra Mundial, una mejor analogía sería la de retroceder la línea de tiempo aproximadamente de 30 a 40 años (a una era anterior al vuelo motorizado), cuando los globos servían como único método de vuelo. Aunque bastante limitado en comparación con el vuelo a motor, los globos encontraron de hecho alguna utilidad militar limitada durante el siglo XIX, particularmente en la Guerra Civil estadounidense y en la Guerra Franco-Prusiana. Si bien esta analogía tampoco sería infalible, sí sostendría algunos elementos de comparación. Por ejemplo, los globos mostraron una capacidad limitada de maniobra, estando siempre a merced del viento y el clima; los cambios de velocidad y dirección solo podrían verse afectados por un experto en aerostatos que alterase su altitud, haciendo uso de corrientes de viento variables. De manera similar, los satélites también están a merced de los elementos naturales (gravedad de la Tierra y clima solar), y solo los operadores expertos que utilizan la mecánica orbital para cambiar de posición y velocidad, lograrían maniobras limitadas de los satélites actuales.

La razón de este estado de cosas es simplemente la relativa inmadurez de la tecnología, los sistemas y los conceptos de empleo espaciales. Si bien un punto de vista muy extendido dentro de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos sería que la Guerra del Golfo Pérsico representaría la primera guerra espacial de la historia, esta afirmación no sería del todo exacta, ya que, aunque dicho conflicto bélico estaría repleto de ejemplos de apoyo espacial para las fuerzas terrestres, careció de una confrontación en el espacio ultraterrestre. Pero el hecho de que las operaciones espaciales actuales y los principios derivados de ellas sean demasiado limitados para ser de mucha utilidad, no es razón para que no se intenten obtener beneficios a corto plazo²⁴. En otras palabras, el temor de parecer históricamente ingenuo no sería una razón válida para abstenerse del desarrollo de una teoría del poder espacial, ya que la experiencia espacial de casi un siglo, junto con las tendencias tecnológicas y políticas a corto plazo, podrían y deberían servir de base para el avance de una teoría estratégica sobre el poder espacial, en relación con la seguridad multidimensional de los Estados del siglo XXI.

Algunos autores como Peter (2010) y Harding (2013) consideran que la teoría del poder espacial es principalmente un instrumento que permitiría predecir su importancia, profundizar en las motivaciones de los Estados que participan en el espacio exterior, o teorizar altruistamente cuál pudiese ser la mejor manera de asegurar los beneficios del espacio para la "sociedad global". Sin embargo, la predicción y el análisis en profundidad de las motivaciones fundamentales del "comportamiento", no serían competencia de la teoría estratégica, más allá de considerar cómo las características políticas y los objetivos de la guerra influirán en el comportamiento estratégico y los planes de guerra (Álvarez, Corredor y Vagnas, 2018). La teoría estratégica supone que hay al menos dos unidades políticas listas y dispuestas (o al menos preparadas), para usar la violencia a fin de alcanzar sus objetivos.

Más allá de eso, la teoría estratégica, y por tanto la teoría del poder espacial, tiene poco que ofrecer, más allá de comprender cómo y con qué fin un liderazgo desea manifestar su intención política violenta bajo las limitaciones dadas. En resumen, la teoría del poder espacial no es una estrategia espacial, al igual que una estrategia no es una teoría estratégica. Por el contrario, la teoría del poder espacial plantea una colección de ideas y proposiciones para educar al estratega y al tomador de decisiones en el desarrollo de su pensamiento estratégico intuitivo, independientemente del escenario en cuestión, mientras que una estrategia espacial sería un plan real para enfrentar amenazas específicas, contingencias o campañas que involucran o amenazan la seguridad y supervivencia del Estado, desde o hacia el espacio exterior.

24. La guerra (al igual que el espionaje), se ha modificado a través de la información recopilada y transmitida por los sistemas espaciales, impactando profundamente los asuntos militares y diplomáticos. Internet, la televisión satelital y las armas de precisión, son solo algunas de las 307.000 aplicaciones secundarias que se estiman en el desarrollo y uso de sistemas espaciales.

En este orden de ideas, la teoría del poder espacial proporcionaría herramientas conceptuales como puntos de partida para el análisis de cualquier escenario relacionado con el poder espacial, lo que permite que un individuo se adapte a la situación actual en función de las preguntas constructivas planteadas a través de la aplicación crítica de proposiciones, que retienen la utilidad analítica independientemente de la contingencia en cuestión; éste es el valor y la misión de la teoría del poder espacial; es decir, se pretende que el individuo use los conceptos de teoría estratégica en su propia educación, como base para un análisis posterior y para desarrollar estrategias espaciales específicas, que siguen de cerca un canon de teóricos estratégicos.

3.1 Hacia Una Definición del Poder Espacial

Klein (2004) propone que, dada la falta de una teoría del poder espacial integral, las teorías del poder marítimo y aéreo deberían usarse como referentes para el desarrollo la misma. Sin embargo, Klein (2004) analizaría correctamente las limitaciones de equiparar el poder aéreo y espacial, con el poder aeroespacial, ya que la suposición de que el poder aéreo y espacial están inextricablemente vinculados sería errónea:

Los primeros pensadores de las fuerzas espaciales las consideraron simplemente "fuerzas aéreas de alto vuelo". Por ejemplo, la doctrina espacial de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos se estableció por primera vez simplemente reemplazando la palabra "aire" con la acuñación "aeronáutica" en la literatura. Según los integracionistas aeroespaciales, el poder espacial no es diferente del poder aéreo, porque ofrece productos similares a los usuarios. En consecuencia, en esa visión, no se garantiza una teoría o definición de poder espacial por separado, ya que el poder aeroespacial abarca las operaciones espaciales (p. 61).

Los enlaces entre el poder aéreo y el poder espacial comenzarían a debilitarse, cuando se consideran las actividades que respaldan las operaciones espaciales de los Estados, ya que éstas se pueden clasificar en civiles, comerciales, militares, y de inteligencia; el poder aéreo, por otro lado, se enfocaría casi que exclusivamente en el aspecto militar. Según Klein (2004), "debido a la naturaleza diversa y generalizada de las actividades espaciales de los Estados Unidos, sus operaciones espaciales tienen implicaciones que abarcan todos los elementos del poder nacional: diplomático, militar, económico, tecnológico e informativo" (p. 60). Asimismo, Klein (2004) sostiene que "algunos estrategias, que señalan las similitudes entre las operaciones marítimas y espaciales, sugieren que la mejor teoría espacial posible se lograría simplemente sustituyendo "espacio" por "mar" en la estrategia naval" (p. 65). Sin embargo, la teoría del poder naval,

trata con los barcos, la construcción naval, la guerra en el mar y las fuerzas militares asociadas con las armadas. Además, la teoría naval se ocupa principalmente de los medios y métodos de emplear la fuerza en el mar para alcanzar objetivos nacionales al tiempo que aumenta el poder y el prestigio nacionales (...). En consecuencia, la aplicabilidad del modelo naval al espacio es limitada, ya que no abarca adecuadamente la interacción y la interdependencia de otros entornos o fuerzas militares (Klein, 2004, p. 62).

Por tanto, si bien podría tomarse como referentes los modelos del poder aéreo y marítimo, el desarrollo de una teoría del poder espacial debería comenzar por acercarse al espacio exterior como un entorno único, en lugar de hacer que el espacio ultraterrestre se ajuste a las teorías del mar y el aire. Sin embargo, definir el término "espacio" podría llegar a ser tan difícil como definir el término "poder" (Álvarez, Barón y Monroy, 2018)²⁵. En este sentido, y con el propósito de definir el "poder espacial", el "poder" podría considerarse como la capacidad de un actor estatal o no estatal para lograr sus metas y objetivos en presencia de otros actores (tanto estatales como no estatales), y el "espacio" como el área sobre la atmósfera de la Tierra que se extiende infinitamente en todas las direcciones, comenzando aproximadamente a 100 kilómetros sobre la superficie terrestre, en la denominada Línea de Kármán (figura 2).

25. De hecho, parece que ha habido varios incentivos a lo largo de los años para evitar intencionalmente definir el término "espacio" y, por tanto, dónde comienza este entorno tan único y particular. La definición de espacio, o incluso el reconocimiento de la existencia del mismo como un entorno separado, depende en gran medida de quién lo define y por qué.

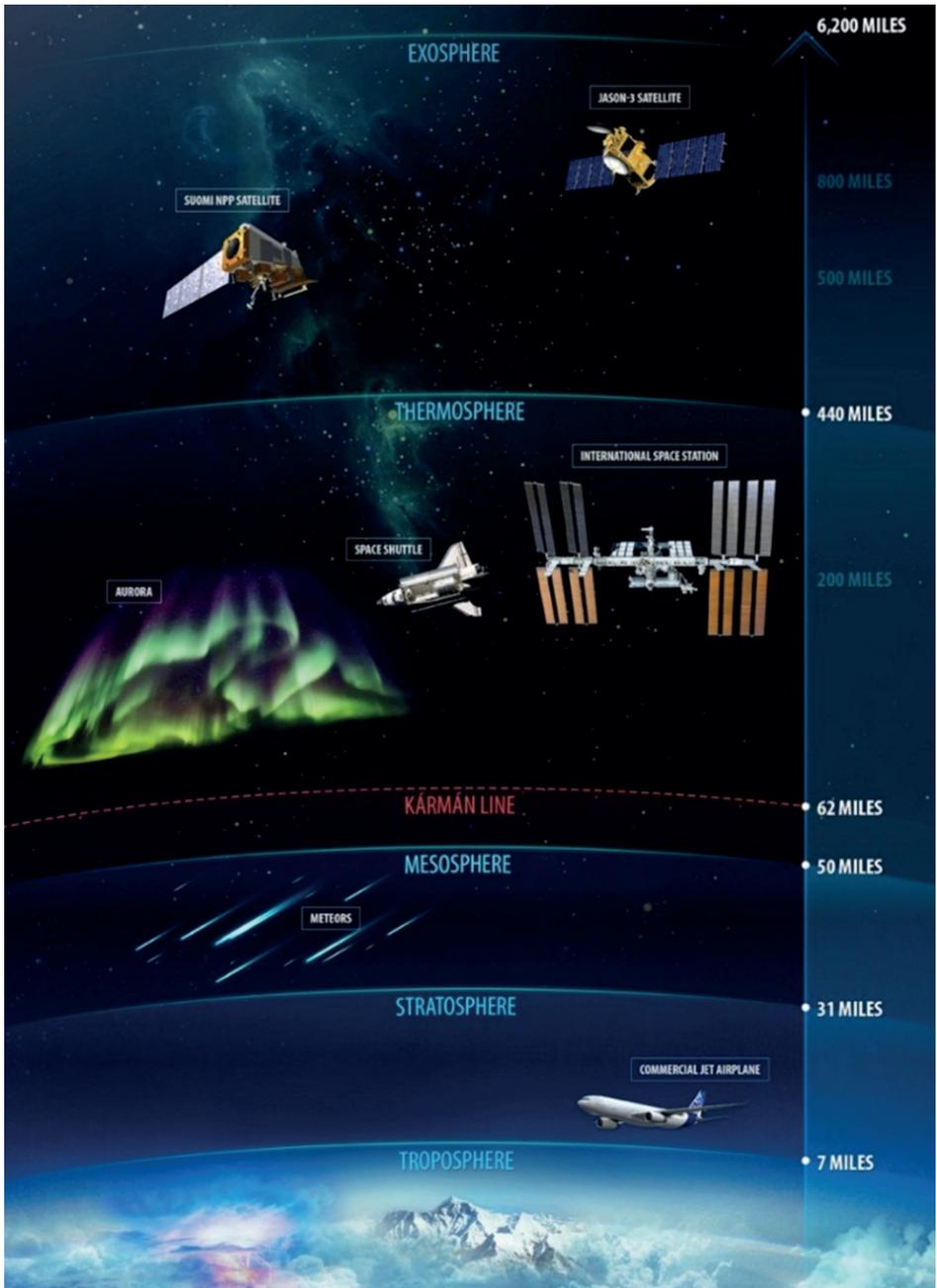


Figura 2. Capas de la atmósfera
Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration -NAA- (2019)

Con base en lo anterior, Larned (1994) define el “poder espacial” como la “capacidad de explotar los sistemas espaciales civiles, comerciales y militares, así como aquella infraestructura asociada en apoyo de la estrategia de seguridad nacional” (p. 4), entendiendo que los sistemas espaciales como aquellos que “constan de tres elementos: un elemento espacial, un elemento terrestre y un elemento de enlace” (p. 4). Por su parte, Hyatt, Laugesen, Rampino, Ricchi y Schwarz (1995), definen el poder espacial como “la capacidad de un actor estatal o no estatal para alcanzar sus metas y objetivos en presencia de otros actores en el escenario mundial mediante el control y la explotación del entorno espacial” (p. 65). Gray (1996) ofrece una definición más sucinta, al describir el poder espacial como “la capacidad de usar el espacio y negar el uso confiable de este entorno a cualquier enemigo” (p. 293).

Tomando en consideración las anteriores referencias, los autores de este capítulo propondrían la siguiente definición: “el poder espacial es la facultad y voluntad del uso de las capacidades espaciales de carácter civil, militar y sus infraestructuras asociadas, en apoyo de las estrategias de seguridad y desarrollo nacionales, así como del logro de los intereses nacionales objetivos y subjetivos”²⁶. Con base en la definición propuesta, se podría pensar que el poder espacial sería similar al poder aéreo, terrestre y/o marítimo; sin embargo, es esencial comprender que el término abarcaría mucho más que simplemente el poder militar. En este sentido, es útil traer en contexto la definición de Lupton (1988, p. 4):

Primeramente, el poder espacial es la capacidad de utilizar el entorno espacial en busca de algún objetivo o propósito nacional. Segundo, el poder espacial puede ser puramente militar, como la recopilación de datos de vigilancia, o no militar, como la recopilación de datos de recursos terrestres o las comunicaciones civiles. En tercer lugar, los cuatro elementos del poder nacional representan no solo a las fuerzas militares, sino también las capacidades civiles. Por ejemplo, el General H. Arnold describió el poder aéreo como la capacidad aeronáutica total de una nación. El almirante Mahan incluso incluyó la naturaleza de las instituciones políticas de un país como un determinante del poder marítimo de una nación. Por extensión, el transbordador espacial, un vehículo civil, junto con la estructura política que permitió su desarrollo, contribuye al poder espacial estadounidense. Una definición que incluye estas tres características es que el poder espacial es la capacidad de un Estado para explotar el entorno espacial en busca de objetivos y propósitos nacionales e incluye todas las capacidades astronáuticas de la nación. Una nación con tales capacidades se denomina poder espacial.

26. Con respecto a los intereses nacionales, objetivos y subjetivos, véase Álvarez, Ramírez y Castaño (2018).

Entonces, el debate académico en torno a la conceptualización de “poder espacial”, así como al desarrollo de una teoría consistente, ha incluido discusiones sobre la naturaleza, importancia y funcionamiento del mismo. En efecto, distintos autores (Lupton, 1988; Larned, 1994; Gray, 1996; DeBlois, 1997) han intentado explicar la “naturaleza” del poder espacial en términos de los atributos del entorno espacial y las fuerzas espaciales. Lupton (1988) usaría tres categorías de atributos: 1) características del poder espacial influenciadas por el entorno, tales como la presencia global, la naturaleza posicional del movimiento en el espacio (a diferencia de las operaciones de maniobra en el entorno aéreo), y los efectos de armas electromagnéticas de largo alcance; 2) características del poder espacial influenciadas por la logística, como las extensas líneas de comunicación espaciales y los pocos activos habitados en el espacio exterior; y 3) características del poder espacial influenciadas por el aspecto político/legal, tales como los sobrevuelos legales (sobre territorios soberanos), y la soberanía vehicular.

Por su parte, Larned (1994) argumentó que los tres atributos clave del poder espacial son la continuidad, la dispersión y la puntualidad. En contraste, Gray (1996) ofreció las siguientes características definitorias del poder espacial: 1) el espacio es el “terreno elevado” de todos los escenarios de combate; 2) el espacio es a la vez global y de casi toda la profundidad militar infinita; y 3) la astrodinámica se traduce en satélites disponibles en todo el mundo como una presencia general que se repite regularmente. Asimismo, Gray (1996) equilibró estas ventajas potenciales del poder espacial al identificar las siguientes limitaciones: 1) costo del transporte a la órbita; 2) leyes de movimiento que limitan la maniobra en el espacio; y 3) largas distancias desde los eventos terrestres. Finalmente, en una integración del poder aéreo y espacial, DeBlois (1997) analizó las ventajas características del poder aeroespacial, en términos de política, despliegue y empleo, acceso a la esfera real, entorno de ésta y capacidad permitida en ella. Pero es con base en los aportes de Lupton (1988) y Gray (1996) a la doctrina espacial estadounidense, que Harter (2006) propuso una serie de inferencias sobre las cuales operadores espaciales militares, estrategas, planificadores, desarrolladores de políticas y profesionales académicos podrían ampliar su comprensión del poder espacial, y dar forma a las capacidades de un Estado en esta materia:

1. El espacio exterior es el máximo punto elevado. Los grandes estrategias militares se dieron cuenta de las ventajas estratégicas, operativas y tácticas de controlar el terreno elevado. Desde la recomendación de Sun Tzu de asegurar siempre la posición elevada de un teatro de operaciones terrestre (por ejemplo, una colina), pasando por el uso de globos tripulados en la Guerra Civil de los Estados Unidos, los pioneros de los aviones de la Primera Guerra Mundial, los héroes de la aviación de la Segunda

Guerra Mundial, hasta los pilotos de los SR-71 y U-2 de alto vuelo de la Guerra Fría, el terreno elevado ha ofrecido siempre ventajas estratégicas de seguridad situacional, reconocimiento, focalización y fuerza ofensiva para dominar el espacio de batalla (Harter, 2006). Dicha apreciación toma mayor importancia actualmente, ya que las operaciones de información y las guerras de quinta generación dependerían de la recopilación y difusión global de información en tiempo real que a menudo solo es posible desde los sistemas espaciales (Álvarez, Santafé y Urbano, 2017).

Por tanto, el entorno espacial se constituiría en el siglo XXI como el máximo “terreno elevado”, con velocidad, rango, altitud y sigilo sin paralelo, ya que los sistemas espaciales proporcionan un conducto que permitiría canalizar los instrumentos del poder nacional (diplomático, informativo, militar y económico) para la satisfacción de la seguridad nacional. Asimismo, los sistemas espaciales son uno de los principales canales a través del cual las redes digitales distribuyen información instantánea por doquier, y las comunicaciones por satélite proporcionan comando y control (C2)²⁷ en tiempo real, seguro y resistente a las acciones tomadas por potenciales adversarios; además, los sistemas espaciales apoyan o perturban la economía de un Estado moviendo grandes flujos de datos a la velocidad de la luz en todo el mundo, remodelando las economías nacionales con conectividad global (comunicaciones, clima, navegación, entorno ambiental, científico, etc.).

Cómo “último” terreno elevado, el entorno espacial tiene un alcance global, ya que no estaría sujeto a límites geográficos o a las fronteras de un Estado-nación; por ejemplo, los satélites atraviesan las órbitas terrestres por encima de los Estados, pasando desapercibidos y eludiendo los “cuellos de botella” terrestres o marítimos tradicionales. En el espacio, la soberanía territorial sería inexistente, posiblemente con la excepción de las posiciones o “slots” de la Órbita Geosíncrona Ecuatorial (GEO)²⁸.

2. El espacio exterior es un medio distinto, por lo que se requiere de una teoría, doctrina y política centrada únicamente en el espacio ultraterrestre. Al igual que las fuerzas terrestres, navales y aéreas operan en sus propios medios (entornos), las fuerzas espaciales operarían en su propio medio distintivo: el vacío del espacio. Con relación a lo anterior, las leyes físicas restringen, potencian y distinguen a cada medio; por ejemplo, las fuerzas terrestres estarían unidas por la gravedad en dos dimensio-

27. El comando y control (C2) es un conjunto de atributos y procesos organizativos y técnicos que emplea recursos humanos, físicos y de información para el cumplimiento de las misiones de una organización.

28. Los slots de la órbita geoestacionaria (35.888 kilómetros sobre la longitud ecuatorial de un país), están regidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y ya se han convertido en un activo geoestratégico muy solicitado, por causa de su utilidad económica y militar. La demanda de las posiciones de GEO y de sus asignaciones de frecuencia se está intensificando en un espacio de batalla geopolítico, lo que resulta en recientes disputas políticas internacionales.

nes, mientras que las fuerzas marítimas y aéreas son tridimensionales y dependerían totalmente de las leyes de dinámica de fluidos de Bernoulli²⁹.

Por su parte, al tratarse el espacio exterior de un entorno distinto, las fuerzas espaciales funcionarían a través de las leyes de Kepler del movimiento planetario³⁰ (Harter, 2006). En consecuencia, si las fuerzas terrestres, navales y aéreas están gobernadas y optimizadas por sus distintivas teorías, doctrinas y políticas acordes con el entorno en donde operan, tendría sentido que las fuerzas espaciales se beneficien también de su propia teoría, doctrina y política. Debido a que cada entorno operativo es distinto, la teoría del poder marítimo claramente no se traduciría a la teoría del poder aéreo, como tampoco parecería lógico que la teoría del poder aéreo se transfiera a la teoría del poder espacial³¹.

3. El poder espacial es una fuerza multiplicadora para cada comandante y fuerza militar. El poder espacial proporcionaría a los líderes militares, operadores y planificadores, enormes efectos de mejora de la fuerza, que combinan la efectividad del combate en el procesamiento de teatros de campaña. Los sistemas espaciales potenciarían significativamente la capacidad de las fuerzas amigas para atacar el “centro de gravedad” del enemigo³², paralizándolo a un adversario y facilitando que las propias fuerzas de tierra, mar y aire logren un rápido dominio del escenario de batalla.

29. Expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica de 1738, el principio de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente, y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee permanece constante a lo largo de su recorrido, tomando en consideración que el fluido hidráulico en un sistema que contiene energía en dos formas: cinética, en virtud del peso y de la velocidad, y potencial, en forma de presión. El teorema se aplica al flujo sobre superficies, como las alas de un avión o las hélices de un barco: las alas están diseñadas para que obliguen al aire a fluir con mayor velocidad sobre la superficie superior que sobre la inferior, por lo que la presión sobre esta última es mayor que sobre la superior; la diferencia de presión proporciona la fuerza de sustentación que mantiene al avión en vuelo. De manera similar, una hélice también es un plano aerodinámico, es decir, tiene forma de ala; en este caso, la diferencia de presión que se produce al girar la hélice proporciona el empuje que impulsa al barco.

30. Las leyes fueron formuladas entre 1609 y 1619, y establecerían que: 1) los planetas se mueven alrededor del Sol en elipses, estando el Sol en un foco; 2) la línea que conecta el Sol con un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales; y 3) el cuadrado del período orbital de un planeta es proporcional al cubo de la distancia media desde el Sol (es decir, desde el “simieje” mayor de la elipse, la mitad de la suma de la distancia mayor y menor desde el Sol).

31. Esta apreciación no era popularmente aceptada (al menos hasta épocas recientes), debido a la preeminencia de la doctrina estadounidense del poder aéreo en la mayoría del mundo occidental, en la cual se estipulaba que el dominio vertical aéreo y espacial (aeroespacial) era indivisible. En consecuencia, el poder aéreo y el poder espacial se desarrollarían simultáneamente en un servicio centrado en el poder aéreo, ya que ambos se regían bajo el paraguas de la teoría, la doctrina y la política de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Los recursos limitados (presupuesto y recurso humano) existieron durante la Guerra Fría para desarrollar el poder aéreo y el poder espacial por igual; por ende, el poder aéreo tuvo prioridad, y el poder espacial (considerado como un subconjunto del poder aéreo), se vería relegado. Sin embargo, dos eventos trascendentales en la década de 1990 revirtieron esta tendencia de 40 años y mejoraron significativamente el desarrollo del poder espacial: por un lado, el final de la Guerra Fría liberó recursos para el desarrollo del poder espacial, y por el otro, la Guerra del Golfo Pérsico resultó ser un evento que probaría el potencial de las aplicaciones espaciales militares, impulsando las inversiones espaciales; desde entonces, la doctrina del poder espacial ha logrado un progreso significativo, pero aún queda un largo camino por recorrer.

32. De acuerdo con Álvarez, et al. (2017), el centro de gravedad representaría en las ciencias de la física aquel punto donde “las fuerzas de la gravedad convergen dentro de un objeto; también es el punto en el cual, al aplicar una fuerza, el objeto se moverá eficazmente: si se golpea con bastante fuerza es posible que el objeto pierda su equilibrio y se caiga” (p. 193). En el ámbito militar, el centro de gravedad se enfocaría en lograr un efecto específico, es decir, el colapso del enemigo; por ende, se trataría de un enfoque basado en efectos, en lugar de capacidades.

Los activos espaciales reducirían la “niebla de guerra”³³ propuesta por Clausewitz (1989), al proporcionar a las fuerzas terrestres de operaciones, sinergias basadas en efectos, que las fuerzas aéreas, terrestres y marítimas no podrían realizar por sí solas³⁴. Las aplicaciones militares en el entorno espacial han posibilitado avances significativos en el combate, mediante una mayor precisión de la navegación y orientación que otorgan los satélites de posicionamiento, navegación y tiempo (PNT por sus siglas en inglés), una cobertura global que permiten los satelitales de comunicaciones (SATCOM por sus siglas en inglés), datos confiables del clima terrestre producto de los satélites meteorológicos e inteligencia fenomenal y reconocimiento, gracias a los satélites de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR por sus siglas en inglés), entre otros.

4. Las fuerzas espaciales pueden apoyar todos los niveles de guerra simultáneamente. Los sistemas espaciales producen efectos globales de forma simultánea gracias a su velocidad, alcance, precisión y presencia global. En efecto, los satélites, debido a su gran ventaja en el terreno, tienen la capacidad de cubrir simultáneamente varios teatros de operaciones; por ejemplo, las constelaciones de SATCOM en GEO proporcionan comunicaciones satelitales y avisos de misiles constantes debido a su posición estacionaria, mientras que los satélites ISR en la órbita baja terrestre (LEO por sus siglas en inglés)³⁵, proporcionan revisiones rápidas de la geografía terrestre y marítima en cuestión de horas. Y los satélites del sistema de posicionamiento global proporcionan una navegación global, adaptada para teatros de operaciones específicos.

Estas capacidades permiten que las fuerzas espaciales impacten directamente las operaciones de combate a nivel global, regional y local simultáneamente. Del mismo modo, debido a su medio exclusivo de terreno elevado, el poder espacial entrega información crítica para la planificación y ejecución de las operaciones militares, en todos los niveles de guerra (estratégica, operativa y táctica). Mientras que las fuerzas terrestres generalmente combaten batallas tácticas secuenciales antes de que puedan avanzar hacia objetivos operativos o estratégicos, las fuerzas espaciales (y, en cierta medida, las fuerzas aéreas), tienen la capacidad de participar en campañas separadas y paralelas en todos los niveles de guerra.

33. La “niebla de la guerra” era según Clausewitz (1989), la incertidumbre en la conciencia situacional experimentada por los participantes en las operaciones militares, con respecto a la propia capacidad, la capacidad del adversario y la intención del adversario. Para reducir la “niebla de la guerra”, Clausewitz consideraba que la información (conocimiento del enemigo y su territorio) era esencial para asegurar la victoria (Álvarez, Corredor y Vanegas, 2018).

34. Además de ser un gran multiplicador de fuerza, el poder espacial es conjunto por naturaleza.

35. Los satélites en esta órbita tienen una altitud entre 200 a 1.500 kilómetros sobre la superficie de la Tierra.

Finalmente, los sistemas espaciales proporcionan información en todo el espectro del conflicto, incluida la guerra convencional, la guerra no convencional (guerra nuclear y cibernética), la guerra asimétrica (guerra global contra el terrorismo y las insurgencias), y operaciones militares distintas de la guerra, que incluyen asistencia humanitaria y socorro en casos de desastre, operaciones de mantenimiento de la paz, operaciones de evacuación de no combatientes, etc. (figura 3).



Figura 3. Sombrilla del poder espacial
Fuente: Harter (2006, p. 69)

5. El poder espacial aprovecha los centros de gravedad económicos y militares de un Estado. Conducido adecuadamente, el poder espacial aprovecha el centro de gravedad militar y económico, proporcionando una vía para que todos los instrumentos del poder nacional respondan de manera más efectiva a las situaciones globales. El espacio se está convirtiendo en un centro de gravedad militar y económico para los Estados que realizan operaciones militares, políticas y económicas (Álvarez et al., 2017), ya que, en una era de la información, las economías se construyen y las guerras se libran cada vez más con la transferencia de información dependiente de los sistemas espaciales.

Por ende, como cualquier otro centro de gravedad militar o nacional, el centro de gravedad espacial de un Estado debe estar asegurado, si se considera las implicaciones estratégicas y la vulnerabilidad tanto del centro de gravedad militar como económico, en caso de que los sistemas espaciales no estén disponibles; la comunicación, la navegación, las imágenes y el clima basados en el espacio son ahora esenciales para la conciencia situacional global, la industria del transporte y los mercados financieros. En términos generales, el espacio es un centro de gravedad lucrativo para todos los Estados, y su democratización y mayor acceso hace que todos los Estados sean potenciales jugadores espaciales, difuminando la línea entre fuerzas espaciales hostiles, amigables y neutrales.

6. La superioridad del espacio comienza con un acceso asegurado al mismo. El propósito del poder espacial de un Estado-nación es apoyar y alcanzar los intereses nacionales; para lograrlo, un Estado necesita asegurar sus activos espaciales, controlar el medio espacial y disuadir a potenciales adversarios espaciales. La superioridad del espacio garantiza la libertad de acción en el espacio mediante la protección de los bienes espaciales y, si es necesario, la negación de las capacidades espaciales de un adversario (Álvarez, Barón y Monroy, 2018). En este orden de ideas, Harter (2006) sugiere que la superioridad espacial se representa mejor como una pirámide que consta de tres componentes críticos: 1) acceso al espacio (llegar al espacio); 2) operaciones contraespaciales (control de espacio) y 3) estructura C2 centrada en el espacio (figura 4).



Figura 4. Pirámide de la Superioridad Espacial
Fuente: elaboración propia con base en Harter (2006)

La posición geográfica siempre ha sido un factor estratégico y la clave del éxito en los negocios, la política, y por supuesto, las operaciones militares (Álvarez y Zambrano, 2017).

En este sentido, para obtener la posición definitiva en el espacio, un Estado necesita un acceso seguro a éste, por lo que tal posición se constituye en la base sobre la cual opera la superioridad del espacio. El acceso espacial proporciona ingresos a posiciones estratégicas y vitales para que los activos espaciales en órbita logren los objetivos nacionales. Por ende, para garantizar la seguridad y el dominio del medio espacial (superioridad espacial), el poder espacial de un Estado necesita de capacidades asequibles para acceder al espacio a fin de implementar, sostener, aumentar y operar sistemas espaciales en órbita cuando sea necesario; por ello, un acceso espacial confiable, sensible y asequible es la puerta al verdadero poder espacial de un Estado.

De acuerdo con Harter (2006), la falta de un acceso asegurado al espacio es, sin lugar a dudas, la principal limitación para una potencia espacial efectiva, sostenida y robusta. Por tanto, las capacidades e infraestructuras para un acceso nacional al espacio deberían estar integradas entre las comunidades militares, civiles, comerciales e internacionales del espacio; no obstante, un Estado que navegue por el espacio requiere una capacidad de lanzamiento espacial autónoma para las operaciones de defensa nacional.

7. El control del espacio requiere ojos, oídos, escudo y espadas. Para que un Estado logre un poder espacial decisivo en apoyo de los intereses nacionales, debe contar con los medios para controlar el medio espacial. El control del espacio, o las operaciones espaciales, es el segundo elemento de la tríada de la superioridad del espacio propuesta por Harter (2006). Entonces, asegurar y negar el uso del medio espacial requeriría de una robusta arquitectura para la realización de operaciones espaciales: el conocimiento de la situación espacial (CSE), con los correspondientes medios para el desarrollo de operaciones espaciales ofensivas y defensivas (OEO/OED).

El CSE forma la base para el control espacial de un Estado, mapeando el espacio de batalla al proporcionar los “ojos y oídos” que permitan identificar actividades espaciales amigables, neutrales y potencialmente hostiles. Sin el CSE, un Estado estaría ciego y sordo a la actividad espacial, haciendo inútiles las capacidades de OEO y OED, colocando en grave riesgo su seguridad nacional. Un sistema de CSE le permite a un Estado comprender las condiciones ambientales adversas (por ejemplo, el clima espacial), saber dónde se ubican los adversarios del escenario espacial, predecir operaciones espaciales foráneas y determinar los cursos de acción deseables; además,

incluiría buscar y rastrear objetos espaciales, identificar enlaces y nodos, y caracterizar fuerzas espaciales amigas, neutrales y hostiles. En resumen, el objetivo es la preparación rápida, precisa y significativa de la inteligencia espacial del espacio de batalla con una única imagen espacial integrada (Harter, 2006).

Las OED son los “escudos” para el poder espacial de un Estado, ya que permiten disuadir y defender los sistemas espaciales del ataque enemigo, mediante el uso de medios activos o pasivos. Como los Estados más avanzados dependen de sus capacidades espaciales y desarrollan centros de gravedad militares y económicos, esta dependencia del espacio también representaría una vulnerabilidad potencial que un adversario podría explotar, en detrimento propio; por tanto, las OED de un Estado reducen esta amenaza a través de sistemas satelitales endurecidos, componentes anti-interferencia, ataques cinéticos contra sistemas de interferencias en tierra, señales de salto de frecuencia, maniobras orbitales para evadir acciones hostiles, entre otros recursos.

Las OEO se constituyen en las “espadas” para el poder espacial de un Estado, al anular la capacidad espacial de un adversario (infraestructura en tierra, satélite o señal). Así como las fuerzas terrestres, marítimas y aéreas han empleado armas ofensivas, también es probable que lo harán las futuras fuerzas espaciales, ya que, si bien el uso de armas en el espacio es un asunto controvertido, no está explícitamente prohibido por el Derecho Internacional del Espacio (ver capítulo III). En este orden de ideas, las capacidades de las OEO deberían estar diseñadas para el desarrollo de operaciones basadas en efectos. La doctrina de operaciones espaciales de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos identifica cinco niveles de efectos deseados de las OEO: engaño, interrupción, negación, degradación y destrucción; estos efectos se logran a través de una variedad de recursos de OEO, incluidos aviones, misiles, fuerzas de operaciones especiales, armas antisatélite, armas de energía dirigida, operaciones de guerra de redes, sistemas de interferencia, entre otros. En conclusión, la OEO flexible y basada en efectos, es clave para el poder espacial de un Estado, y junto con el CSE y la OED, forman la arquitectura fundamental para la superioridad operacional del espacio.

8. Las fuerzas espaciales requieren un comando y control centralizado dirigido por profesionales del espacio. La pieza final del rompecabezas de la superioridad espacial es el C2 efectivo del espacio; contrario al poder marítimo, terrestre o aéreo, los sistemas espaciales del poder espacial tienen impactos y contribuciones simultáneos en múltiples teatros de operaciones. Por ende, al igual que soldados, marineros y aviadores experimentados controlan las fuerzas terrestres, marítimas y aéreas, los profesionales militares del espacio serían la mejor opción para controlar las fuerzas espaciales.

9. El poder espacial es una función de la total capacidad espacial de un Estado. El poder espacial debería ser el resultado de un esfuerzo a nivel nacional. Sin embargo, la limitada comunidad espacial colombiana está fragmentada y carece de unidad de esfuerzo, por lo que la cooperación entre militares, políticos, académicos, empresarios y la sociedad civil colombiana (e incluso potenciales organizaciones espaciales internacionales aliadas), se hace perentoria (figura 5).

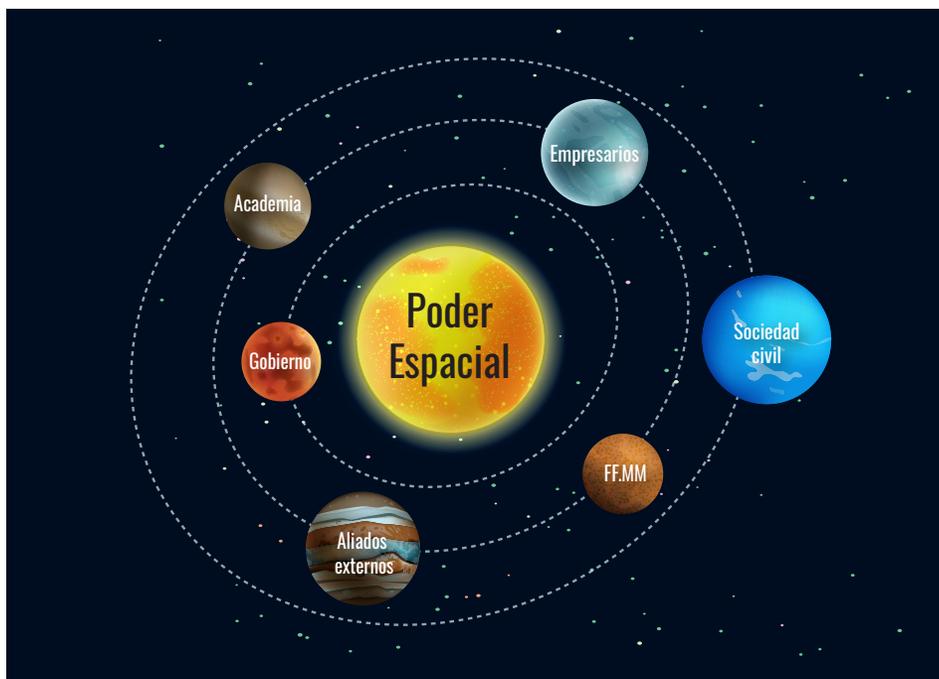


Figura 5. Actores de la cultura espacial del Estado
Fuente: elaboración propia

En este orden de ideas, una cultura espacial cooperativa permitiría superar las complejidades tecnológicas y los considerables costos relacionados con el espacio, mediante el aprovechamiento de la tecnología y los recursos compartidos (infraestructura, experticia, etc.), entre las fuerzas militares, el sector privado, la academia, las instituciones gubernamentales y la sociedad colombiana en general.

10. El poder espacial nacional alcanza su pleno potencial cuando un Estado se compromete con la constitución de una fuerza espacial independiente. El verdadero poder espacial de un Estado no podría alcanzar su máximo potencial hasta que éste se comprometa con la creación de una fuerza espacial independiente (Harter, 2006).

Con base en lo anterior, la República Popular de China estableció en 2016 la Fuerza de Apoyo Estratégico del Ejército Popular de Liberación, con el objetivo de consolidar las operaciones cibernéticas y espaciales. Asimismo, las Fuerzas Espaciales Rusas eran una organización independiente que existió entre 1992 y 1997, y nuevamente entre 2001 y 2011; posteriormente, esta organización se restableció en 2015 como una rama de las Fuerzas Aeroespaciales de la Federación Rusa.

Por su parte, el encargado de las actividades militares espaciales de los Estados Unidos había sido el Comando Espacial de la Fuerza Aérea. No obstante, y ante las crecientes amenazas percibidas por parte de otras potencias del espacio³⁶, la actual administración de Donald Trump propuso, el 18 de junio de 2018, en el marco del Consejo Nacional del Espacio, la creación de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos; es decir, la sexta rama de las fuerzas armadas junto a la Armada, el Ejército, el Cuerpo de Marines, la Fuerza Aérea y la Guardia Costera. El objetivo principal de la Fuerza Espacial sería el de asegurar y extender el dominio estadounidense del espacio; en lugar de desplegar soldados en él, la Fuerza Espacial se centraría en la seguridad nacional y en la preservación de los satélites y vehículos dedicados a las comunicaciones y la observación internacionales, dado que el gobierno y las fuerzas militares de los Estados Unidos dependen en gran medida de los satélites para pronosticar el clima, recopilar imágenes de alta resolución para inteligencia y dirigir misiles con satélites GPS.

En contraste, en el entorno colombiano de recursos finitos y en la limitada visión estratégica del Estado, los sistemas espaciales no se han considerado como prioridad, si se les compara con los sistemas de armas terrestres, marítimos o aéreos. Por tanto, una fuerza espacial independiente fomentaría una cultura en sí misma, reduciendo la competencia por los recursos y permitiendo que la teoría del poder espacial y la capacidad de combate resultante se desarrollen de manera más efectiva, con el objeto de contrarrestar futuras amenazas espaciales para la seguridad multidimensional de Colombia.

36. Rusia y China son los dos mayores competidores espaciales de los Estados Unidos y ambos han demostrado capacidades espaciales formidables. Por ejemplo, China lanzó en 2007 un misil que se elevó 800 km hasta impactar a uno de sus propios satélites meteorológicos, demostrando importantes capacidades en materia de OEO. En un evento similar y desconcertante en 2014, una pieza de supuesta basura espacial rusa llamada *Object 2014-E28*, resultaría ser un robot autónomo capaz de acoplarse a satélites hostiles para sacarlos de su propia órbita. Además, Estados Unidos considera que China está invirtiendo en misiles hipersónicos capaces de evadir la detección estadounidense, y tanto Rusia como China ya habrían integrado ataques contra satélites como parte de sus protocolos de guerra.

3.2 Escuelas de Pensamiento de La Teoría del Poder Espacial

Lupton (1988) ha propuesto cuatro escuelas de pensamiento con respecto a la Teoría del Poder Espacial: 1) Escuela del Terreno Elevado; 2) Escuela del Control del Espacio; 3) Escuela de Supervivencia y 4) Escuela Santuario. Si bien con base en estas escuelas, Lupton (1988) exploraría las diferencias en las creencias doctrinales con respecto a la mejor manera de emplear fuerzas espaciales, dichos enfoques han trascendido la discusión doctrinal de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, y se han constituido como escuelas de pensamiento más amplias de la teoría del poder espacial (DeBlois, 1998; Oberg, 1999).

En términos generales, la Escuela del Terreno Elevado sostiene que cualquier Estado dependiente del entorno espacial para las actividades militares y civiles esenciales, debe dominar dicho escenario para la garantía de su seguridad nacional. Por su parte, la Escuela del Control del Espacio simplemente establece que, basándose en precedentes como el dominio en aire, tierra y mar, inevitablemente el espacio exterior se convertirá en un arma y en un dominio de combate. En otra dirección, la Escuela de Supervivencia afirma la importancia del espacio ultraterrestre, pero busca mantener las limitaciones de la militarización del espacio a los sistemas pasivos, o al menos defensivos, a través de acuerdos de control de armas. Finalmente, la Escuela Santuario propone que el espacio se mantenga “fuera de los límites” de la soberanía de los Estados y de la guerra, al igual que sucedería con escenarios geográficos como el de la Antártida.

3.2.1 Escuela del Terreno Elevado.

Interpretar el espacio como un terreno elevado sería análogo a los soldados de caballería que ocupan una posición más alta desde la cual pueden ver el terreno circundante y, si es necesario, combatir desde una posición ventajosa; por tanto, la perspectiva del terreno elevado vería al espacio exterior como la posición más alta desde la cual puede obtenerse la máxima ventaja militar en la Tierra. En consecuencia, una de las ventajas más significativas que ofrecen activos espaciales como los satélites de reconocimiento, es el acceso permanente e ininterrumpido a aquellas áreas que de otro modo estarían fuera del alcance físico.

Pero las peculiares características físicas del espacio ultraterrestre limitan el alcance de la analogía, ya que, si bien las tropas militares en lo alto de una colina pueden

defenderse y ocultarse y los aviones tienen la capacidad de realizar rápidas maniobras defensivas, la mayoría de los satélites, sin embargo, no pueden ocultarse fácilmente ni realizar rápidas maniobras de defensa. Por el contrario, son usualmente objetos brillantes con un telón de fondo de cielo oscuro, que desplazándose en una dirección predecible los convierte en un blanco relativamente sencillo para un adversario espacial (Hardesty, 2005). Con base en lo anterior, las ventajas que como terreno elevado ofrecería el espacio exterior, conllevarían una serie de riesgos, particularmente para aquellos Estados que se han vuelto altamente dependientes de estos activos espaciales. Según Colby (2016), tal sería el caso de los Estados Unidos:

Estados Unidos depende profundamente de la capacidad de usar el espacio para su seguridad. Aunque poco apreciado fuera de los círculos expertos y profesionales, el espacio, o más precisamente los activos espaciales de los Estados Unidos, son vitales para las comunicaciones de defensa e inteligencia de los Estados Unidos entre líderes nacionales, fuerzas militares y otros; para el comando y el control; para el posicionamiento, navegación y sincronización; para la inteligencia, vigilancia y reconocimiento; y otra gran cantidad de funciones. Si bien esto puede parecer más bien funciones de apoyo, en realidad son el material que hace posible la primacía militar estadounidense a nivel global (p. 4).

Entonces, el espacio exterior sería vital para la preeminencia militar de Estados Unidos y la estrategia nacional de seguridad que suscribe. Pero esta dependencia sería cada vez más problemática, debido a que sus posibles adversarios han notado el grado de dependencia estadounidense a su arquitectura espacial, trabajando asiduamente para encontrar formas de amenazar su primacía en el espacio. De acuerdo con Tellis (2007), las preocupaciones sobre la capacidad estadounidense para controlar el "terreno elevado" se incrementaron en 2007 cuando algunas publicaciones chinas comenzaron a referirse al espacio como el "talón de Aquiles" de los Estados Unidos, y significativamente en 2013, cuando China lanzó lo que declaró era una nave espacial científica a una altitud jamás considerada, una que los estadounidenses consideraban inalcanzable por las armas y por tanto, un "santuario" para sus satélites de alto valor.

3.2.2 Escuela del Control del Espacio

La Ley de Autorización de Defensa Nacional crearía para el año 2000, la Comisión Rumsfeld encargada de evaluar la gestión y organización del espacio exterior de los Estados Unidos con relación a su seguridad nacional. El informe que elaboró dicha comisión, se convertiría en la base de la Política de Seguridad Espacial de los Estados Unidos.

En dicho informe se declaraba que como todos los medios (aire, tierra y mar), habían visto conflictos, la realidad indicaba que el espacio no sería diferente, y que, dada esa certeza, Estados Unidos debía desarrollar los medios para disuadir y defenderse de los actos hostiles en y desde el espacio (Johnson, 2017). Dicha postura suponía, por tanto, la inevitabilidad de las armas espaciales, por lo que el informe recomendaba a los Estados Unidos actuar rápida y decisivamente para evitar un "Pearl Harbor" espacial.

La ambigüedad de la intención que se deriva de la naturaleza de doble uso de la tecnología espacial aumentaría inherentemente las percepciones de amenazas que alimentan esta escuela de la "inevitabilidad", creando así un dilema de seguridad espacial. Las acciones tomadas por los Estados atrapados en este dilema a menudo involucran el desarrollo de tecnología. Es pertinente anotar que los dilemas de seguridad ocurren cuando un Estado toma acciones destinadas a reforzar su seguridad (así se realicen desde una postura netamente defensiva), lo que lleva a otros Estados a responder de manera similar, provocando un aumento de las tensiones entre ellos (Jervis, 1978). Los dilemas de seguridad se explican usualmente a través del "modelo espiral" o por medio del "modelo de disuasión" del conflicto, y ambos modelos intentarían explicar por qué se produce la guerra.

El modelo espiral plantea que los conflictos surgen de la aplicación del castigo a partir de la falsa expectativa de que dicha acción generará un mejor comportamiento por parte del adversario, cuando en realidad lo que provocaría es una respuesta contraproducente, ya que enfurecido o asustado por el castigo, el adversario se vuelve más agresivo y dispuesto a usar la fuerza para defenderse; el primer lado responde con más castigo, suponiendo que su primer castigo fue demasiado leve, mientras que el adversario, en consecuencia, se vuelve aún más beligerante. De esta forma, dos actores divididos solo por pequeñas diferencias pueden desembocar en una intensa confrontación o incluso en la guerra³⁷.

El modelo de disuasión plantea que los conflictos surgen de los actos de apaciguamiento realizados con la falsa expectativa de que dicho apaciguamiento provocará un mejor comportamiento del adversario, cuando en realidad causa uno peor. El otro, creyendo que coaccionó o asustó al apaciguador para ofrecer sus concesiones, supone

37. Se han ofrecido dos explicaciones principales para las espirales: la primera es psicológica: los encargados de formular políticas sufren los síndromes que la psicología cognitiva sugiere que sufren los individuos, de ahí que los Estados que gobiernan exhiben estos mismos síndromes. Específicamente, los Estados subestiman su propio papel en causar la hostilidad de los demás, porque: 1) se involucran en alguna ilusión acerca de sí mismos, lo que hace que subestimen la agresividad de su propia conducta; 2) creen (siguiendo la teoría de la atribución), que su propia agresividad fue obligada por las circunstancias, específicamente, por el comportamiento del otro lado; y 3) suponen además que la otra parte lo sabe. La segunda explicación está relacionada con el nacionalismo: los Estados y las sociedades pintan autoimágenes en sus libros escolares y en el discurso público, en gran parte para construir el patriotismo y un espíritu cívico.

que más amenazas generarán más concesiones; por tanto, hace demandas adicionales, respaldadas por amenazas. También puede descartar las amenazas del apaciguador después de que éste cambie de rumbo y adopte la disuasión; como resultado, puede ir demasiado lejos y desencadenar la guerra.

3.2.3 Escuela de Supervivencia

En lugar de partir de suposiciones de inevitabilidad basadas en precedentes históricos, la Escuela de Supervivencia adopta un enfoque más clásico en el desarrollo de una estrategia del poder espacial. Comienza cuestionándose qué es lo que interesa a largo plazo a Estados Unidos, ya que es el Estado que más activos tiene en el espacio, y, por ende, el que más depende de las actividades espaciales.

Los defensores de esta escuela argumentan que, si bien las armas espaciales podrían ofrecer a los Estados Unidos una ventaja a corto plazo, en realidad debilitarían a largo plazo su seguridad multidimensional de cuatro maneras importantes: 1) Una estrategia ofensiva en el espacio sería tecnológicamente más fácil y barata que una estrategia de defensa, como lo han demostrado los esfuerzos de defensa antimisiles a lo largo del tiempo (Mosher, 2000); en consecuencia, no se podría ganar una carrera armamentista, por lo que no es prudente provocarla. 2) El desarrollo de armas espaciales podría provocar un ataque preventivo de un adversario. 3) Poseer armas espaciales bien podría crear una mentalidad de "úselo o piérdalo" entre las fuerzas estadounidenses. Y finalmente, como lo habrían demostrado los juegos de guerra espacial anteriores, el uso de un arma espacial correría el riesgo de generar una escalada de guerra peligrosa, incluso de carácter nuclear (Johnson, 2017).

Estos riesgos combinados alejarían a los defensores de la Escuela de Supervivencia del atractivo que ofrece la militarización del espacio. Sin embargo, el enfoque de control de armas fue claramente rechazado durante la administración de George W. Bush; en efecto, el entonces subsecretario de Estado para el Control de Armas y Asuntos de Seguridad Internacional, John Bolton, afirmaba que los Estados Unidos no estaba preparado ni interesado en negociar la limitación de una carrera armamentista en el espacio ultraterrestre (Johnson, 2018). La razón era que Estados Unidos tenía una ventaja tecnológica en materia espacial con relación a los demás Estados, y el control de armas solo serviría para limitar sus esfuerzos por mantener tal posición. Y si bien durante la administración Obama se prometió inicialmente trabajar en la prohibición de armas que interfiriesen con satélites militares y comerciales, la iniciativa fue abandonada rápidamente, a raíz del lanzamiento de un vehículo espacial chino a gran al-

titud en 2013, llevando a que la administración Obama respaldara cada vez más una postura de guerra espacial, favorecida por las comunidades militares y de inteligencia, así como por el complejo militar-industrial estadounidense, que se beneficia de las inversiones para el desarrollo de la tecnología espacial de alto costo y alto riesgo (Johnson, 2017).

3.2.4 Escuela Santuario

Esta perspectiva del poder espacial busca mantener el espacio ultraterrestre como un santuario libre de la actividad militar o al menos de ciertas actividades militares. Sin embargo, la naturaleza de la tecnología espacial de doble uso hace que eso sea poco probable, ya que el espacio ofrece ventajas para la mejora de la fuerza que muchos Estados buscan comprensiblemente. Un ejemplo es Japón, que en un principio limitó constitucionalmente sus actividades espaciales al “uso pacífico del espacio”, definiendo “pacífico” como “no militar”; no obstante, en la realidad del programa de comando, control, comunicaciones, computadoras, inteligencia, vigilancia y reconocimiento (C4ISR) basado en satélites, Japón modificaría esa restricción en 2008 (The Guardian, 21 mayo de 2008). Desde hace algunos años, un número creciente de Estados estarían ampliando sus programas espaciales militares, lo que indica una tendencia a alejarse de la Escuela Santuario; tal es el caso de Estados Unidos, en donde existe un consenso creciente de que los activos espaciales brindan ventajas especiales para la defensa de la seguridad nacional, hasta el punto que la administración de Donald J. Trump anunció hace poco la creación de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos.

Oberg (2009) complementaría la discusión de la teoría del poder espacial desarrollada por Lupton (1988), al describir cuatro razones para la construcción de una teoría del poder espacial³⁸:

Primero, la Teoría del Poder Espacial proporciona una base para apreciar la naturaleza única del espacio. El espacio no es tierra y las metáforas terrestres no son útiles y de hecho son dañinas. Con una buena teoría del poder espacial, puede formularse estrategias innovadoras y también asegurarse de tenerlas todas (...). El segundo punto es que una buena teoría del poder espacial protege a los trabajadores y a los tomadores de decisiones de falsas analogías, el autoengaño definitivo del “terreno elevado”. Otra elaboración es que debido a que el espacio es tan impredecible y sobrenatural, en el sentido literal de la palabra, las cosas pueden inventarse o hacerse allí, desarrollarse y desplegarse allí, y sorprender

38. Oberg (2009) descarta las Escuelas Santuario, de Supervivencia y Terreno Elevado, y propone un mayor desarrollo de la Teoría del Poder Espacial utilizando la perspectiva de la Escuela del Control del Espacio.

a las personas; la conmoción del *Sputnik* de hace 45 años es algo que muchos de nosotros recordamos y fue una de las grandes sorpresas del siglo XX. Otras sorpresas como esa podrían estar disponibles si carecemos de una teoría de poder espacial adecuada. Y, por último, una buena teoría proporciona un criterio, una medida de “bondad” para la selección entre opciones competidoras (p. 3).

Con base en lo anterior, Oberg (2009) propone los siguientes fundamentos para la construcción de una teoría del poder espacial: 1) el principal atributo de los sistemas espaciales en la actualidad radica en su amplia visión de la tierra; 2) un corolario de este atributo es que un vehículo espacial puede observar vastas áreas de la superficie de la Tierra; 3) el espacio es un medio distinto; 4) el poder espacial por sí solo es insuficiente para controlar el resultado del conflicto terrestre o asegurar el logro de los objetivos políticos terrestres; 5) el poder espacial se ha desarrollado, en su mayor parte, sin presencia humana en el espacio, haciéndolo único entre todas las formas de poder nacional; 6) la conciencia situacional en el espacio es clave para la aplicación exitosa del poder espacial; 7) en algún momento en el futuro, la presencia física de humanos en el espacio será necesaria para proporcionar una mayor conciencia situacional; 8) se requiere competencia tecnológica para convertirse en un poder espacial, y, por el contrario, los beneficios tecnológicos se derivan de ser un poder espacial; 9) el control del espacio es la pieza clave de la que depende el poder espacial de un Estado; 10) al igual que con los medios terrestres, el armamento del espacio es inevitable, aunque la manera y el momento no son predecibles; 11) la investigación científica y la exploración del espacio dan sus frutos; 12) las operaciones espaciales han sido y siguen siendo extremadamente intensivas en capital.

4. El Poder Espacial a La Luz de Las Teorías de Relaciones Internacionales

El enfoque tradicional del estudio de las teorías de relaciones internacionales ha sido la paz y la guerra, así como la cooperación y competencia entre aquellas unidades políticas que conforman el sistema internacional; estas unidades estarían caracterizadas principalmente por Estados nacionales, actores supranacionales y actores no estatales. En este orden de ideas, hasta el advenimiento de las guerras de tercera generación, la mayoría de las interacciones entre estas unidades tuvieron lugar en la superficie del planeta Tierra, tanto en los dominios terrestres como marítimos (Álvarez et al., 2017); pero con el desarrollo de las tecnologías aéreas y espaciales, las relaciones internacionales tenderían a expandirse para incluir nuevos dominios en el ejercicio del poder entre Estados y actores no estatales (Álvarez, Ramírez y Castaño, 2018).

Al igual que la geografía terrestre proporcionó el marco histórico para las relaciones internacionales, el espacio exterior ya se estaría incorporando como un escenario para el estudio de las teorías de relaciones internacionales del siglo XXI, especialmente cuando las rivalidades en la Tierra (junto con los requisitos percibidos para la cooperación), parecerían proyectarse también hacia el espacio ultraterrestre. En consecuencia, existe la probabilidad de que surjan nuevas teorías que tomen en cuenta las características novedosas del espacio a medida que la humanidad conozca más de ese entorno competitivo y cooperativo. Sin embargo, por ahora continuaría pensándose el espacio ultraterrestre con aquellas teorías sobre las relaciones políticas vinculadas a la Tierra; pero debido a que “todas las teorías en relaciones internacionales describen o prescriben interacciones y relaciones, el espacio se estaría convirtiendo en otro escenario sobre el cual podría teorizarse el comportamiento de las unidades políticas” (Pfaltzgraff, 2011, p. 29).

La necesidad de una teoría de relaciones internacionales sobre el espacio exterior podría surgir de la creciente explotación de los recursos naturales en el espacio, así como del futuro desarrollo de las rutas de transporte y comunicación entre colonias y estaciones espaciales; esto proporcionará un ambiente fértil para teorizar sobre las existentes y potenciales relaciones políticas, sociales y económicas, ya que según Glassner (1993), todas estas presentes y futuras actividades en entornos espaciales,

generarán inevitablemente cuestiones de nacionalidad y soberanía, propiedad y uso de recursos, de distribución de costos y beneficios, estratificación social y diferencias culturales, de ley y lealtades, rivalidades y política, de fronteras y poder, e incluso de imperios coloniales y guerras de independencia (p. 519).

De las teorías de relaciones internacionales se deriva la idea, basada en la geografía, de que un nuevo escenario geográfico se convierte primero en un complemento de la seguridad y el bienestar de la unidad primaria y, más tarde, en una configuración que debe controlarse por sí misma (Álvarez, Ramírez y Castaño, 2018). El poder aéreo se previó primero como una base para mejorar las operaciones en tierra, convirtiéndose posteriormente en un escenario que debía defenderse por su propio bien, debido al despliegue de activos vulnerables como los bombarderos. A medida que las tecnologías se vuelven cada vez más accesibles, son adquiridas por un número creciente de actores, desde Estados más avanzados a otros en vías de desarrollo. Tal ha sido el caso del espacio ultraterrestre; en un principio fue una arena para la competencia de Guerra Fría entre dos superpotencias, mientras que en la actualidad sería un escenario en el que confluyen los programas espaciales de más de 72 Estados-nación.

Las teorías de relaciones internacionales han centrado principalmente su estudio en las relaciones de poder, y, por tanto, en el comportamiento de las unidades políticas que conforman el sistema internacional; en consecuencia y dada su centralidad a la disciplina de las relaciones internacionales, el “poder” en la forma del “poder espacial” representaría una extensión lógica de este concepto. Desde Dwight Eisenhower, todos los presidentes de los Estados Unidos han declarado que preservar la libertad de paso en el espacio exterior es un interés vital de los Estados Unidos, que a su vez que debe protegerse para toda la humanidad; la libertad de paso a través del espacio exterior representa una norma consagrada en el tratado de 1967 sobre el Espacio Ultraterrestre. De acuerdo con Pfaltzgraff (2011), esto es análogo al control del mar que abarca la libertad de paso en tiempos de paz y la capacidad de negar a un enemigo el uso de los mares durante la guerra. Por ende, los intereses en el futuro de las potencias espaciales estarán en asegurar un paso seguro para ellos y para sus aliados, al tiempo que se les niega el acceso a sus adversarios. En la práctica, esto significaría que al igual que los mares, el espacio se convertiría en un escenario tanto para la competencia como para la cooperación, ya que cuestiones políticas como la garantía de la seguridad multidimensional, se extenderían desde su entorno terrestre hasta el escenario espacial.

En efecto, estrategias como la disuasión entre los Estados en el siglo XXI (Álvarez, Barón y Monroy, 2018), dependerían en gran medida del despliegue de diversas capacidades de poder en el espacio. En este sentido, y debido a que el poder espacial permitiría y mejoraría la capacidad de un Estado para la defensa de su seguridad multidimensional, las teorías de relaciones internacionales serían deficientes si no le otorgan al espacio una consideración más prominente, ya que este entorno se ha venido constituyendo como un escenario en el que la competencia y la cooperación se expondrían en términos y problemas que recuerdan a los fenómenos de la Tierra. En este orden de ideas, la inclusión del espacio ultraterrestre en el campo disciplinar de las relaciones internacionales evolucionaría a medida que se incorpore a los estudios estratégicos y de seguridad el entorno espacial, ya que las teorías de relaciones internacionales (como la mayoría de las teorías en ciencias sociales), son generalmente contextuales.

4.1 Poder Espacial y La Teoría Realista de Las Relaciones Internacionales

Para comprender sus implicaciones en el poder espacial, la teoría realista de las relaciones internacionales podría abordarse desde las escuelas del realismo clásico (Morgenthau, 1960), y del realismo estructural (Waltz, 1979). Lo que ha hecho tan promi-

nente a las escuelas realistas en el campo de estudio de las relaciones internacionales es su “multidimensionalidad”, incluidas las hipótesis que se pueden generar en cada uno de los niveles de análisis de la teorización en relaciones internacionales (Zakaria, 1997): el sistema internacional, las unidades que lo conforman y las características de comportamiento de las propias unidades. Además del “poder”, otra de las variables clave de estudio de la teoría realista son los “intereses nacionales” en competencia en un mundo de anarquía, en el cual los Estados están obligados a confiar en sus propios medios para la supervivencia, o a través de estrategias de alianzas o coaliciones con otros Estados que comparten sus mismos intereses (Glaser, 1994).

Si bien la teoría realista no contempla todavía un énfasis de estudio en el espacio, es posible derivar a partir de sus diversas ideas, bases sobre las cuales es posible correlacionar los conceptos de poder espacial e interés nacional. En efecto, según la teoría realista clásica, el Estado territorial perseguiría el “interés nacional”, el cual estaría definido por una variedad de factores como la geografía, la ideología, los recursos y las capacidades basadas en la necesidad de asegurar la propia supervivencia en un mundo de anarquía (Rose, 1998). En consecuencia y debido a que la política internacional es una lucha por el poder, se podría inferir desde la perspectiva realista, que el poder espacial sería una manifestación de tal lucha.

Con el advenimiento de las tecnologías espaciales, el interés nacional ahora incluiría el espacio exterior, ya que, si las rivalidades internacionales en la Tierra se proyectan en el espacio, las teorías sobre cómo los Estados las enfrentan en la Tierra también podrían extenderse al espacio. Debido a que los Estados tecnológicamente avanzados dependen en gran medida de los activos basados en el espacio, la capacidad de defender o destruir tales activos se convertiría en un imperativo de la seguridad nacional, como sucede en el caso de Estados Unidos, Rusia o China. Aunque en el presente, serían los Estados los únicos con la capacidad de amenazar las potencialidades espaciales de otros Estados, las amenazas en el futuro cercano podrían llegar a provenir por parte de actores privados y organizaciones terroristas capaces de, por ejemplo, lanzar un ataque de pulso electromagnético que destruya o deshabilite infraestructuras electrónicas vitales para los Estados³⁹, incluidas las telecomunicaciones, el transporte, la infraestructura bancaria y financiera, así como los sistemas automatizados de producción y distribución de alimentos.

39. Tales amenazas podrían surgir por el empleo de un arma nuclear detonada de 80 a 400 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, directamente sobre un objetivo o adyacente a su territorio.

La dependencia del espacio de los Estados tecnológicamente avanzados, junto con su vulnerabilidad resultante para atacar dentro y desde el espacio, contribuye a la relevancia de la teoría realista para el análisis del espacio y la seguridad multidimensional. Por tanto, con la llegada de las tecnologías espaciales, se ha agregado una nueva dimensión al concepto de interés nacional de la teoría realista; el hecho de que varios Estados hayan desarrollado programas espaciales nacionales destaca la relevancia de la teoría realista para ayudar a explicar por qué los Estados adquieren esos programas, tomando en cuenta que ya se ha comenzado a utilizar el espacio en apoyo del interés nacional.

La teoría realista también contiene el supuesto de que los Estados dependen en última instancia de sí mismos para sobrevivir en un sistema internacional anárquico (Morgenthau, 1960). Por tanto, los Estados (y más precisamente, sus tomadores de decisiones), determinarían por sí mismos como entidades soberanas, la garantía de su supervivencia en función de las percepciones del interés nacional, ya que al ser la "independencia" un elemento central de esta teoría, la seguridad multidimensional solo sería factible con el desarrollo autónomo de capacidades de poder que le permitan sobrevivir sin la necesidad de asistencia externa. Y debido a que el interés nacional se podría entender mejor dentro de un entorno geográfico, se observaría que la teorización en relaciones internacionales sobre el poder espacial comenzaría necesariamente con un análisis geopolítico relacionado con el espacio que no puede separarse del interés nacional. En consecuencia, la teoría realista proporcionaría información sobre la base de las políticas espaciales nacionales de los Estados, ya que sería probable que los Estados que son capaces de desarrollar vastas capacidades terrestres, extiendan su alcance en el espacio a medida que las tecnologías para este propósito estén disponibles.

Debido a que los Estados desarrollados tienen mayores capacidades tecnológicas para operar en el espacio, es probable que favorezcan un papel importante para el sector privado (su principal fuente de innovación), junto con los regímenes internacionales que regulan el uso del espacio y protegen la capacidad de los sectores público y privado. En contraste, los Estados en vías de desarrollo que no pueden costear el desarrollo de capacidades espaciales, o simplemente carecen de la suficiente voluntad para hacerlo, tendrían más probabilidades de favorecer la extensión del principio del patrimonio común al espacio ultraterrestre, mientras intentan imponer límites a las actividades espaciales de aquellos Estados que son tecnológicamente más avanzados. Dichos Estados en vías de desarrollo, como podría ser el caso colombiano en la actualidad, verían el espacio exterior a través de un prisma diferente de interés nacional, buscando restringir o retardar el ejercicio de control o poder espacial de los Estados

más desarrollados. Tales comportamientos por parte de Estados más y menos poderosos con respecto a los problemas del espacio exterior, guardarían coherencia con los presupuestos de la teoría del realismo clásico, ya que cada Estado operaría conforme a sus percepciones con relación al interés y la seguridad nacional.

La teoría del realismo estructural ofrecería otras perspectivas sobre las relaciones espaciales en el futuro. Según Waltz (1979), la estructura internacional configura las opciones disponibles para las unidades (en este caso, los Estados-nación), permitiendo comprender el comportamiento a nivel de las unidades. La "estructura" se define en términos del tipo y número de unidades, así como de sus capacidades respectivas, determinando cómo las unidades se alinean unas contra otras. Por consiguiente, ya se estarían considerando las características estructurales del espacio exterior, si se asume que los planetas y sus satélites lunares constituyen las unidades principales. La geografía del espacio, incluso donde las unidades estarían estratégicamente situadas, proporcionaría una base importante para teorizar sobre su importancia relativa, así como de las dinámicas humanas que se deriven de ellas. Las características únicas del espacio (incluidas las distancias), darían forma a los patrones interactivos dentro y entre las unidades sociopolíticas de los actores basadas en el espacio, tal como lo sugiere Pfaltzgraff (2011):

Las colonias espaciales podrían tener que operar con gran independencia porque no podrían confiar en una Madre Tierra que posiblemente esté a años luz de distancia. Si tales afirmaciones son ciertas, proporcionan información sobre cómo la estructura, extrapolada de la teoría del realismo estructural, daría forma al comportamiento de la unidad en el espacio. Quizás esto se asemejaría de alguna manera a la capacidad interactiva preindustrial extremadamente limitada en la Tierra, cuando las comunicaciones entre grupos muy separados eran pocas y con frecuencia inexistentes (p. 38).

No obstante, a medida que se desarrolle la tecnología, no sería descabellado prever que las unidades del Sistema Solar se terminarán vinculando a medida que el poderío espacial de los actores basados en el espacio se eleve, dando así un nuevo sentido a la estructura espacial. Al igual que la redistribución de capacidades de poder conduce a la creación de nuevos centros de poder y nuevas dinámicas en el proceso de globalización en la Tierra, sería posible prever en el futuro tal analogía en el espacio; esto podría incluir estaciones y colonias espaciales, así como el desarrollo de nuevas capacidades para el control del espacio, las cuales ya de hecho se consideran indispensables para el ejercicio del poder en la Tierra. En efecto, la teoría del realismo estructural

concede gran importancia a los tipos de actores, la distribución de capacidades entre ellos y sus capacidades interactivas (Waltz, 1979). En este sentido, para comprender el actual proceso de globalización sería necesario comprender la importancia de las telecomunicaciones, y particularmente el papel desempeñado por la Internet (Álvarez y Zambrano, 2017), que posibilitan unas comunicaciones instantáneas. Esta mayor capacidad interactiva que ofrecería el ciberespacio se traduciría en una mayor interacción y creación de relaciones sistémicas que conducen, a su vez, a mayores niveles de especialización e interdependencia entre las unidades.

En un esfuerzo por actualizar el pensamiento realista en relaciones internacionales, el realismo crítico en los trabajos de Weir (2004) y Williams (2011), se ha enfocado en estudiar las condiciones bajo las cuales los Estados elegirían como opción preferida una estrategia de competencia o de cooperación. Si bien las capacidades de poder en general (que incluirían el poder espacial), y el lugar que ocupa un Estado en el sistema internacional determinarían su elección, bajo el realismo crítico la orientación de política exterior es el resultado de elecciones basadas en percepciones, valores y otros factores a nivel nacional. Esto replantea el poder en sus componentes ofensivos y defensivos, incluidas las circunstancias en las que los Estados buscan seguridad en un entorno anárquico, desarrollando fuerzas militares para la disuasión o la defensa contra un adversario, así como el nivel y los tipos de capacidades que se consideran suficientes para garantizar su seguridad multidimensional, sin llegar a amenazar la capacidad del otro para su propia disuasión o defensa.

Tales cuestiones son fácilmente identificables en las discusiones sobre el poder espacial, a partir de la teoría realista-contingente, la cual enfatiza el equilibrio entre ataque y defensa, definido como la relación entre el costo de las fuerzas ofensivas y el costo de las capacidades defensivas. Esta teoría proporciona una base teórica para examinar cuándo y cómo los Estados, en un sistema de autoayuda, deciden cooperar como un medio para resolver el dilema de seguridad (Williams, 2011). Consistente con dicha teoría, el espacio ofrece otro escenario para que los Estados desarrollen relaciones de cooperación o de competencia.

4.2 Poder Espacial y La Teoría Neoliberal de Las Relaciones Internacionales

Así como el espacio exterior puede configurarse como un área para la competencia, también puede llegar a serlo para la cooperación. En este sentido, cobran relevancia las teorías derivadas de la escuela liberal de las relaciones internacionales, entre

las cuales destaca el neoliberalismo que, al desconocer la naturaleza anárquica del sistema internacional, afirma que las dinámicas entre los actores estarían dadas por patrones de cooperación y no de confrontación (Keohane y Nye, 2011). Por ejemplo, la teoría de la paz democrática postula que los Estados definidos como democracias liberales no irían a la guerra contra otras democracias liberales (Álvarez et al., 2017). De este modo, sería más probable que estos Estados cooperen entre sí en actividades espaciales que, con gobiernos totalitarios con presencia en el espacio, aunque los Estados Unidos y la Federación Rusa vienen desarrollando actividades de cooperación espacial, como sucede en la actual Estación Espacial Internacional. Empero, es principalmente en las democracias donde tienen lugar los debates sobre la militarización del espacio, por lo que sería probable que, al proporcionar la base para la colonización u otros patrones interactivos en el espacio, sean las democracias las que lleven consigo los valores que podrían moldear el comportamiento de los actores en el espacio.

Sin embargo, es plausible sugerir que los rigores del espacio probarán los valores terrenales en entornos drásticamente diferentes a los que existen en la Tierra, lo que requiere cambios dramáticos en las relaciones políticas y sociales. A medida que desarrollan una presencia en el espacio como un complemento de sus intereses terrestres, los Estados ya han comenzado a formar regímenes que codifican estándares normativos, diseñados para facilitar la cooperación basada en procedimientos y procesos acordados, así como intereses comunes y valores compartidos sobre el espacio exterior y sus actividades relacionadas. Aquellos regímenes pueden ser formales o informales; los formales son resultado de la legislación de las organizaciones internacionales mediante consejos de gobierno y estructuras burocráticas, mientras que los regímenes informales se basan simplemente en el consenso sobre los objetivos y los intereses de los participantes.

Por tanto, es posible prever regímenes en el espacio como consecuencia de los valores cooperativos en los que, bajo la visión neoliberal, los Estados participan en intercambios mutuamente gratificantes, bien sean comerciales, tecnológicos, entre otros. La teoría neoliberal sostiene que la satisfactoria cooperación en un sector (que incrementaría la interdependencia entre los actores), puede aumentar los incentivos para la colaboración en sectores adicionales, en lo que Haas (1964) denominaba "lógica expansiva de la integración del sector" (p. 48). Dicha cooperación beneficiaría tanto a los Estados como a los actores no estatales, conduciendo a un orden en el cual ambos cooperan para beneficio mutuo; en otras palabras, la cooperación podría basarse en los intereses nacionales, una idea compatible con la teoría realista, por lo que no podría asegurarse en la actualidad si el espacio exterior reforzará la dimensión

competitiva, o por el contrario, creará la necesidad de una mayor cooperación entre las entidades emergentes que poblarán el espacio.

4.3 Poder Espacial y La Teoría Constructivista de Las Relaciones Internacionales

Si bien gran parte de las teorías de relaciones internacionales se centran en las relaciones entre estructuras que dan forma al comportamiento de las unidades o agentes, y en cómo la capacidad interactiva conduce a patrones interactivos (sistemas), otro enfoque para teorizar sobre el espacio exterior sería la teoría constructivista de las relaciones internacionales. En la imagen constructivista, los bloques de construcción del sistema internacional pueden entenderse mejor mediante el análisis de las reglas, prácticas, agentes, declaraciones, arreglos sociales y relaciones. Por ende, la teoría del constructivismo no sería propiamente una teoría, sino una ontología que busca la comprensión de la naturaleza del ser, es decir, una forma de mirar el mundo.

Desde la perspectiva constructivista, el sistema internacional está en una constante construcción; por ello, el mundo se modifica a medida que se producen nuevos cambios geopolíticos, geoeconómicos y/o geoestratégicos. Según Kubalokova, Onuf y Kowert (1998), dichos cambios se producirían en un entorno en el que “una gran parte del planeta [también] está cambiando las formas internas de manejar [sus] asuntos políticos, económicos y sociales. Ninguna parte del mundo puede evitar estos cambios o sus consecuencias; el mundo entero está continuamente en construcción” (p. 19). Según esto, para los constructivistas las teorías basadas en fenómenos como los Estados, los equilibrios de poder, la anarquía o el interés nacional son inadecuadas, ya que son abstracciones que se “construyen” en las mentes de los seres humanos, en lugar de ser objetos con una realidad concreta. A lo cual Pfaltzgraff (2011, p. 42) agrega: “las relaciones humanas son inherentemente sociales, ya que están definidas por los arreglos sociales hechos por individuos o grupos que están dotados de libre albedrío”.

Traducido al ámbito espacial, esto significa que la humanidad tendría la capacidad de crear o construir los tipos de arreglos que desee tener para el espacio. En este orden de ideas, las reglas de comportamiento serían el resultado de un cambiante consenso intersubjetivo que surge a lo largo del tiempo, a partir de discusiones, pensamientos y acciones. En otras palabras, así como se construye la realidad y las respectivas identidades individuales, grupales y nacionales, sería posible considerar el espacio ultraterrestre como un escenario en el cual las reglas de comportamiento, primero derivadas de la experiencia terrenal y luego evolucionando a la luz de nuevos factores,

conducen a la construcción de nuevas reglas que gobiernan el comportamiento y las identidades en el espacio.

De acuerdo con el constructivismo, se crearían nuevos valores y expectativas que se integrarían en un número cada vez mayor de personas, extendiéndose a comunidades epistémicas más amplias (definidas como élites), con una comprensión compartida de un tema en particular. Presumiblemente, los organizadores de este proyecto y sus participantes se encuentran dentro de esta categoría, ya que desarrollan una base ideacional para pensar y desarrollar estrategias para el poder espacial. Estas comunidades epistémicas crearían una estrategia para lograr sus objetivos y desempeñar un papel innovador importante. Quienquiera que construya reglas de comportamiento que puedan aplicarse al espacio ultraterrestre, determinará cuáles son esas reglas, al menos en la medida en que se trate con relaciones políticas, sociales y económicas.

5. Conclusiones

Desde el lanzamiento del *Sputnik* por parte de la Unión Soviética en 1957, muchos Estados comenzaron a incluir las preocupaciones de seguridad basadas en el espacio en sus políticas exteriores, lo que los obligó a considerar qué significaban las nuevas operaciones en el espacio para la seguridad nacional; también comenzaron a integrar activos basados en el espacio en sus enfoques para una amplia gama de desafíos de desarrollo nacional, desde la agricultura hasta la mejora de la salud y el desarrollo de los recursos naturales. Aunque la importancia del espacio para el poder nacional, el prestigio y el potencial de los Estados ha sido menos evidente en los años transcurridos desde los días de la carrera espacial de la Guerra Fría, su importancia nunca ha disminuido y continuará aumentando a medida que muchos Estados incrementan los presupuestos espaciales nacionales; por ende, el espacio exterior se ha ganado, de hecho, un lugar permanente en la mesa de los asuntos relacionados con el conflicto internacional, la paz, el desarrollo nacional e internacional, la geopolítica y el derecho internacional.

Con base en lo anterior, la teoría del poder espacial es un marco para construir un pensamiento creativo sobre una gama de posibilidades que guíen la toma de decisiones y la construcción de estrategias relacionadas con cualquier dimensión de la seguridad de un Estado que pueda verse amenazada por el poder espacial de otro actor, sea éste estatal o no; es decir, la teoría del poder espacial es una herramienta de análisis que facilita el desarrollo de estrategias espaciales específicas que garanticen su seguridad multidimensional.

Para Font y Ortega (2012), la seguridad multidimensional es un marco conceptual que parte de la idea de que las amenazas a un Estado no provienen exclusivamente del ámbito militar, sino también de otros, como el político, económico, tecnológico, ambiental, social, etc. Según Álvarez y Cañón (2019), el concepto de seguridad multidimensional reconoce que en un mundo cada vez más globalizado, “cohabitan todo tipo de amenazas, lo que hace necesario e imperativo dicho concepto evolucione a la par con el sistema, en el cual los Estados se encontrarían en una condición de interdependencia en términos de seguridad” (p. 196). Por ende, una perspectiva estratégica basada en la seguridad multidimensional partiría de la base de que las amenazas a la seguridad nacional de un Estado dejarían de ser sólo las tradicionales (amenaza física por parte de las capacidades militares de un Estado o actor no estatal), y las fuerzas militares e instituciones encargadas de lidiar con temas de seguridad deberían, en consecuencia, “innovar para responder a situaciones diversas y cambiantes en nuevos escenarios” (Font y Ortega, 2012, p. 65).

Como ya se mencionó, en octubre de 1957, la Unión Soviética sorprendió al mundo al lanzar con éxito el primer satélite artificial, *Sputnik 1*, a la órbita terrestre baja (LEO). Al repetir esta hazaña un mes después del primer lanzamiento (*Sputnik 2*), los soviéticos hicieron una declaración de profundo significado tecnológico, político y militar que marcaría el comienzo de la carrera espacial. Y a medida que la Guerra Fría se intensificaba, los Estados Unidos se dieron cuenta rápidamente de las implicaciones globales y el potencial militar de los activos espaciales en el “terreno elevado”, respondiendo con el desarrollo de su propia capacidad espacial, que culminaría una década más tarde en el logro de la visión del presidente Kennedy y las Misiones *Apolo* de la NASA. Desde entonces, el desarrollo espacial ha proliferado, y ahora docenas de Estados y actores no estatales buscan beneficios económicos y militares al participar de las actividades espaciales. De acuerdo con Lambakis (2018), más de 170 Estados tienen acceso a capacidades espaciales en la actualidad, de los cuales 11 cuentan con infraestructura y capacidades de lanzamiento espacial propias. Y si se tiene en cuenta que las teorías de relaciones internacionales tienen un enfoque tanto descriptivo como prescriptivo en la competencia y la cooperación, inevitablemente se convertirían en la base para la especulación y la teorización sobre tales relaciones en el espacio ultraterrestre, incluidas las capacidades espaciales. El poder espacial sería un concepto multifacético que, como otros tipos de poder en los estudios de relaciones internacionales, podría llegar a ser complejo, indeterminado e intangible (Hays, 2002), incluyendo la posesión de capacidades para realizar operaciones militares, en y desde el espacio, así como para utilizarlo con fines comerciales y otros pacíficos.

Asimismo, el poder espacial entendido como el uso competitivo del espacio para fines y ventajas nacionales, ampliaría el concepto de dominio de las teorías de relaciones internacionales, desde la tradicional configuración geográfica horizontal de la Tierra (dividida en tierra y mares), para incluir la dimensión vertical que se extiende desde el espacio aéreo hasta el espacio exterior. En consecuencia, las teorías sobre el comportamiento político de los Estados y otros actores no estatales en el espacio exterior serían extensiones de las propias hipótesis sobre el ejercicio del poder en la Tierra. Durante gran parte del siglo XX, la carrera espacial fue un elemento de gran relevancia en los asuntos referentes a la seguridad y la defensa de los Estados. Y si bien hasta hace muy pocos años, el monopolio de los Estados Unidos y la Federación Rusa por el control del espacio exterior era innegable, esta situación ha comenzado a mutar a medida que las potencias en ascenso se embarcan en la investigación, exploración y utilización del espacio ultraterrestre, por lo que en el futuro inmediato la importancia de este aspecto como variable de análisis geopolítico y estratégico será aún mayor que durante la Guerra Fría, pues los elevados niveles de desarrollo tecnológico en la actualidad aumentarían las potencialidades del uso del espacio, constituyéndolo como un escenario de competencia y posible confrontación.

Del mismo modo que la presencia en el espacio supone una enorme oportunidad de cara a la exploración cósmica de las potencias y al usufructo de sus recursos, resulta también interesante por las dinámicas geopolíticas más inmediatas que plantea a nuestro planeta. Tal como se pudo constatar durante la Guerra Fría, cuando se llegó a revelar la capacidad de hacer uso militar de los satélites artificiales puestos en órbita, las consecuencias de un vector espacial hacia la Tierra generaron implicaciones directas a la política internacional y a la capacidad de disuasión de los Estados más poderosos. No obstante, el uso militar del espacio es una de las muchas posibilidades que pueden entrar en juego, pues existen tantos tipos de satélites como necesidades. En las últimas décadas, el espacio se ha convertido en un escenario esencial para la precisión, el sigilo, el comando y control, la recopilación de inteligencia y la maniobrabilidad de los sistemas de armas terrestres; pero además de sus usos militares, también se ha vuelto indispensable para las comunicaciones civiles y un sinnúmero adicional de aplicaciones comerciales.

La economía espacial es uno de los sectores de mayor crecimiento a nivel mundial, con un valor de US\$383.5 mil millones en 2017 y de US\$640 mil millones para 2030 (Space Foundation, 2018); por ende, la cuestión residiría en conjugar los intereses de cada uno de los actores espaciales que decidan hacer uso del espacio, particularmente de las órbitas terrestres, cada vez más saturadas.

Ahora bien, las utilidades que ofrecen los sistemas espaciales sustentan, hoy por hoy, la forma de vida en Colombia y proporcionan a sus fuerzas militares, capacidades críticas de combate, si bien la mayoría de estas utilidades espaciales derivadas o procesadas por satélites estarían por el momento contratadas a terceros Estados, en materia de meteorología, comunicaciones, posicionamiento y navegación, vigilancia y reconocimiento de la tierra, funciones de recolección de inteligencia, entre otras. Pero las capacidades para atacar sistemas espaciales antes y durante conflictos convencionales se están extendiendo a numerosos Estados y la proliferación de tecnologías espaciales ofrece a gobiernos extranjeros y entidades no estatales oportunidades incomparables para mejorar la efectividad militar sobre Colombia y, con el tiempo, irrumpir la estabilidad económica, financiera, política, y social del Estado colombiano, que será cada vez más dependiente de los sistemas espaciales.

Pero, ¿está la sociedad colombiana preparada para lidiar con la creciente dependencia espacial de la conectividad, la tecnología y otros servicios que apoyan una amplia gama de actividades políticas, militares y económicas? Independientemente de la respuesta, el gobierno, sus fuerzas militares, y la sociedad colombiana en general, podrían tomar medidas ahora para comprender mejor y mitigar los riesgos asociados con la creciente dependencia del espacio de la actual sociedad digital, ya que, sin una presencia autónoma en el espacio, el país seguiría perdiendo inevitablemente ventajas en el planeta.

Y aunque si bien Colombia ha transitado lentamente hacia el desarrollo de nano-satélites que permitan elevar el interés de este tipo de temas en la opinión pública nacional, a la hora de hablar de satélites, Colombia se queda relegada con relación a otros Estados, incluyendo vecinos regionales como Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, México, Perú y Venezuela, quienes ya cuentan con grandes artefactos aeroespaciales; y una de las razones para este atraso y desinterés podría ser que la sociedad colombiana en general, continuaría considerando al “espacio” como algo distante; tanto así, que bajo el dicho “el cielo es el límite”, los objetos y recursos del espacio exterior estarían invariablemente “fuera de este mundo”. Sin embargo, esta noción no sería del todo correcta, si se toma en consideración que el escenario “espacial” estaría a tan sólo una hora en dirección ascendente, si alguien se desplazara en esa dirección a 100 kilómetros de velocidad.

Referencias

- Álvarez, C., Santafé, G. y Urbano, O. (2017). *Metamorphosis bellum: ¿mutando a guerras de quinta generación?* En Álvarez, C. (Ed.). *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá: Esdegue, pp. 145-248.
- Álvarez, C. y Zambrano J. (2017). Globalización desviada: plataforma de convergencia criminal. En Álvarez, C. (Ed.). *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá: Esdegue, pp. 249-306.
- Álvarez, C. y Cañón, C. (2019). De la construcción del estado a la construcción de la nación colombiana: aportes y reflexiones desde los estudios en seguridad y defensa. En Pastrana, E. y Gehring, H. (Eds.). *Fuerzas Militares de Colombia: Nuevos Roles y Desafíos Nacionales e Internacionales*. Bogotá: Fundación Konrad Adenauer, pp. 181-208.
- Álvarez, C., Corredor, C. y Vanegas, O. (2018). Pensamiento y cultura estratégica en seguridad y defensa: bases para la construcción de una gran estrategia del Estado. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds.). *Hacia una gran estrategia en Colombia: construcción de política pública en seguridad y defensa*. Bogotá: Esmic, pp. 13-80.
- Álvarez, C., Ramírez, Y. y Castaño, G. (2018). Geografía, estado y gran estrategia: una relación indisoluble. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds.). *Hacia una gran estrategia en Colombia: construcción de política pública en seguridad y defensa*. Bogotá: Esmic, pp. 81-148.
- Álvarez, C., Baron, P. y Monroy, V. (2018). Poder astuto: estrategia del empleo del poder en el siglo XXI. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds.). *Hacia una gran estrategia en Colombia: construcción de política pública en seguridad y defensa*. Bogotá: Esmic, pp. 171-268.
- Aveni, A. (1996). Astronomy in the Americas. En Walker, B. (Ed.). *Astronomy Before the Telescope*. London: British Museum Press, pp. 268-289.
- Bowen, B. (2019) From the Sea to Outer space: The Command of Space as the Foundation of Spacepower Theory. *Journal of Strategic Studies*, 42(3), 532-556
- Breasted, J. (1935). The Beginnings of Time-Measurement and the Origins of Our Calendar. *The Scientific Monthly*, 41(4), 289-304.
- Broda, J. (2000). Mesoamerican Astronomy and the Ritual Calendar. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 225-269.
- Chauvin, M. (2000). Useful and Conceptual Astronomy in Ancient Hawaii. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 91-127.
- Clausewitz, C. (1989). *On War*. Princeton: Princeton University Press.

- Colby, E. (2016). *From Sanctuary to Battlefield: A Framework for a U.S. Defense and Deterrence Strategy for Space*. Washington: Center for a New American Security.
- Corbett, J. (1911). *Principles of Maritime Strategy*. New York: Dover Publications (reed. 2004).
- Dearborn, D. (2000). The Inca: Rulers of the Andes, Children of the Sun. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 197-225.
- DeBlois, B. (1997). Ascendant Realms: Characteristics of Airpower and Space Power. En Meilinger, P. (Ed). *The Paths of Heaven: The Evolution of Airpower Theory*. Maxwell Air Force Base: Air University Press, pp. 529-578.
- DeBlois, B. (1998). Space Sanctuary: A Viable National Strategy. *Airpower Journal*, 12(4), 41-57.
- De Young, G. (2000). Astronomy in Ancient Egypt. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 475-509.
- Douhet, G. (1921). *Il Dominio dell'Aria*. Roma: Rivista Aeronautica.
- Font, T. y Ortega, P. (2012). Seguridad nacional, seguridad multidimensional y seguridad humana. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global* (11), 161-172.
- Glaser, C. (1994). Realists as Optimists: Cooperation as Self-Help. *International Security*, 19(3), 50-90.
- Glassner, M. (1993). *Political Geography*. New York: John Wiley and Sons.
- Gray, C. (1996). The Influence of Space Power upon History. *Comparative Strategy*, 15(4), 293-308.
- Haas, E. (1964). *Beyond the Nation-State*. Stanford: Stanford University Press.
- Hardesty, D. (2005). Space-Based Weapons: Long-Term Strategic Implications and Alternatives. *Naval War College Review*, 58(2), 44-66.
- Harding, R. (2013). *Space Policy in Developing Countries*. Abingdon: Routledge.
- Harter, M. (2006). Ten Propositions Regarding Space Power: The Dawn of a Space Force. *Air & Space Power Journal*, XX(2), 64-78.
- Harvey, B (2018). *Discovering the Cosmos with Small Spacecraft: The American Explorer Program*. Dublin: Springer Praxis Books.
- Hays, P. (2002). *United States Military Space: Into the Twenty-first Century*. Maxwell Air Force Base: Air University Press.
- Hyatt, J., Laugesen, P., Rampino, M., Ricchi, R. y Schwarz, J. (1995). *Space Power 2010*. Maxwell Air Force Base: Air Command and Staff College.
- Jervis, R. (1978). *Perception and Misperception in International Politics*. Princeton: Princeton University Press.
- Johnson, J. (2007). *Space as a Strategic Asset*. New York: Columbia University Press.

- Johnson, J. (2017). *Space Warfare in the 21st Century: Arming the Heavens*. New York: Routledge.
- Johnson, J. (2018). Space and National Security. En Reveron, D., Gvosdev, N. y Cloud, J. (Eds.). *The Oxford Handbook of U.S. National Security*. New York: Oxford University Press, pp. 435-452.
- Jusell, J. (1998). *Space Power Theory: A Rising Star*. Maxwell Air Force Base: Air University Press.
- Keohane, R. y Nye, J. (2011). *Power and Interdependence*. New York: Longman.
- Klein, J. (2004). Corbett in Orbit: A Maritime Model for Strategic Space Theory. *Naval War College Review*, 57(1), 59-74.
- Klein, J. (2006). *Space Warfare: Strategy, Principles and Policy*. New York: Routledge.
- Kojevnikov, A. (2011). The Cultural Spaces of the Soviet Cosmos. En Andrews, J. y Siddiqi, A. (Eds.). *Into the Cosmos: Space Exploration and Soviet Culture*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, pp. 15-28.
- Kragh, H. (2007). *Conceptions of Cosmos, From Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology*. Oxford: Oxford University Press.
- Krupp, E. (1997). *Skywatchers, Shamans and Kings: Astronomy and the Archaeology of Power*. New York: Wiley.
- Kubalokova, V., Onuf, N. y Kowert, P. (1998). *International Relations in a Constructed World*. Armonk: M.E. Sharpe.
- Lambakis, S. (2018). Foreign Space Capabilities: Implications for U.S. National Security. *Comparative Strategy*, 37(2), 87-154.
- Larned, R. (1994). *Air and Space Doctrine Symposium*. Maxwell Air Force Base: Air University Press.
- Lehman, M. (1963). *This High Man: The Life of Robert H. Goddard*. New York: Farrar, Straus and Company.
- Logsdon, M. (2010). *John F. Kennedy and the Race to the Moon*. New York: Palgrave Macmillan.
- Lupton, D. (1988). *On Space Warfare: A Space Power Doctrine*. Maxwell Air Force Base: Air University Press.
- Mahan, A.T. (1894). *The Influence of Sea Power Upon History 1660-1783*. Boston: Little, Brown y Co.
- Mayer, H. (2011). A Short Chronology of Spaceflight. En Brunner, C. y Soucek, A. (Eds.). *Outer Space in Society, Politics and Law*. New York: Springer, pp. 20-29.
- Millán, G. (2000). La conquista del espacio. En *Horizontes Culturales: Las Fronteras de la Ciencia*. Madrid: Espasa, pp. 207-220.

- Mitchell, W. (1925). *Winged Defense: The Development and Possibilities of Modern Air*. Tuscaloosa: Alabama University Press (reed. 2009).
- Morgenthau, H. (1960). *Politics among Nations: The Struggle for Power and Peace*. New York: Alfred A. Knopf.
- Mosher, D. (2000). Understanding the Extraordinary Cost of Missile Defense. *Arms Control Today*, 30(6), 48-62.
- National Oceanic and Atmospheric Administration -NAA- (2019). *Satellite and Information Service*. Obtenido de <https://www.nesdis.noaa.gov/>
- Newton, R. (2004). *Galileo's Pendulum*. Cambridge: Harvard University Press.
- Oberg, J. (1999). *Space Power Theory*. Colorado Springs: U.S. Air Force Academy.
- Oberg, J. (2009). *Toward a Theory of Space Power: Defining Principles for U.S. Space Policy*. Washington: Marshall Center.
- Peoples, C. (2011). The Securitization of Outer Space: Challenges for Arms Control. *Contemporary Security Policy*, 32(1), 76-98.
- Peter, N. (2010). The New Space Order: Why Space Power Matters for Europe. *Space & Defense*, 4(1), 53-71.
- Pfaltzgraff, R. (2011). International Relations Theory and Space Power. En Lutes, C. y Hays, P. (Eds.). *Toward a Theory of Space Power: Selected Essays*. Washington: National Defense University Press, pp. 29-44.
- Pollpeter, K. (2016). Space, the New Domain: Space Operations and Chinese Military Reforms. *Journal of Strategic Studies*, 39(56), 709-727.
- Potter, E. (1981). *Sea Power: A Naval History*. Annapolis: Naval Institute Press.
- Robbins, L. (2000). Astronomy and Prehistory. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 31-53.
- Rose, G. (1998). Neoclassical Realism and Theories of Foreign Policy. *World Politics*, 51(1), 144-172.
- Siddiqi, A. (2000). *Challenge to Apollo: The Soviet Union and the Space Race, 1945-1974*. Washington: NASA.
- Siddiqi, A. (2018). *Beyond Earth: A Chronicle of Deep Space Exploration 1958-2016*. Washington: NASA.
- Sidey, H. (1964). *John F. Kennedy: President*. New York: Atheneum.
- Snedegar, K. (2000). Astronomical Practices in Africa South of the Sahara. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 455-475.
- Space Foundation (2018). *The Space Report 2018: The Authoritative Guide to Global Space Activity*. Colorado Springs: Space Foundation.

- Spangenburg, R. y Moser, D. (1995). *Wernher von Braun: Rocket Visionary*. New York: Chelsea House Publishing.
- Sterling, B. (1992). *The Hacker Crackdown*. New York: Bantam Books.
- Straub, J. (2015). Application of a Maritime Framework to Space: Deep Space Conflict and Warfare Scenario. *Astropolitics*, 13(1), 65-77.
- Tellis, A. (2007). Punching the US Military's "Soft Ribs": China's Anti-Satellite Weapon Test in Strategic Perspective. *Policy Brief* (51). Carnegie Endowment for International Peace.
- The Guardian (21 mayo de 2008). *Japan to Allow Military Use of Space*. Obtenido de: <https://www.theguardian.com/world/2008/may/21/japan>.
- Tseng, L. (2011). *Picturing Heaven in Early China*. Cambridge: Harvard University Press.
- Verne, J. (1865). *From the Earth to the Moon*. New York: P.F. Collier & Sons.
- Waltz, K. (1979). *Theory of International Politics*. Reading: Addison-Wesley.
- Wells, R. (1996). Astronomy in Egypt. En Walker, B. (Ed). *Astronomy Before the Telescope*. London: British Museum Press, pp. 32-56.
- Weir, A. (2004). An Ultra-Realist Theory of Perception. *International Journal of Philosophical Studies*, 12(2), 105-128.
- Willard, S. (2007). *Sputnik/Explorer I: The Race to Conquer Space*. New York: Chelsea House Publishing.
- Williams, M. (2011). Contingent Realism: Abandoning Necessity. *Social Epistemology*, 25(1), 37-56.
- Witkin, R. (1958). *The Challenge of the Sputniks, in the Words of President Eisenhower and Others*. Garden City: Doubleday.
- Xiaochun, S. (2000). Crossing the Boundaries Between Heaven and Man: Astronomy in Ancient China. En Selin, H. (Ed.). *Astronomy Across Cultures: The History of Non-Western Astronomy*. London: Springer, pp. 423-455.
- Zakaria, F. (1997). Realism and Domestic Politics. *International Security*, 17(1), 162-183.
- Zhen, L. (2000). *Alternative Twenty-Five Histories: Records of Nine Kingdoms*. Jinan: Qilu Press.



CAPÍTULO II

GEOPOLÍTICA DEL ESPACIO EXTERIOR: DOMINIO ESTRATÉGICO DEL SIGLO XXI PARA LA SEGURIDAD Y DEFENSA*

Carlos Enrique Álvarez Calderón
BG. Eliot Gerardo Benavides González
GR. (RA). Yesid Eduardo Ramírez Pedraza

* Este capítulo hace parte del Proyecto de Investigación de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales, "Desafíos y Nuevos Escenarios de la Seguridad Multidimensional en el Contexto Nacional, Regional y Hemisférico en el Decenio 2015-2025", el cual hace parte del Grupo de Investigación "Centro de Gravedad" de la Escuela Superior de Guerra General Rafael Reyes Prieto, reconocido y categorizado en (A1) por COLCIENCIAS, con el código COL0104976; así como del Grupo de Investigación "Ciencia y Poder Aéreo" (CIPAER), categorizado en (B) por COLCIENCIAS, registrado con el código COL0093003.

1. Introducción

Desde los primeros tiempos, los humanos han mirado hacia el cielo nocturno con la esperanza de encontrar respuestas a algunas de las mayores incógnitas de la vida, y han imaginado innumerables sueños entre las incontables estrellas y galaxias del Universo conocido. Posteriormente, en los primeros años de exploración espacial, la humanidad proporcionaría al mundo una simple narración: la competencia de “vida o muerte” entre la Unión Soviética y los Estados Unidos que culminaría en la Luna, en julio de 1969. Seguidamente, aunque con menor notoriedad, otros Estados comenzaron también a construir sus programas espaciales, ya que aparte de Inglaterra y Francia, Japón lanzaría su primer satélite en febrero de 1970, seguido de China en abril del mismo año y luego India en 1980; Israel los seguiría en 1988.

No obstante, los primeros años del siglo XXI proporcionarían una narrativa más compleja para la exploración y explotación del espacio ultraterrestre. China se unió a las superpotencias espaciales de la Federación de Rusia y de los Estados Unidos para lograr el vuelo espacial tripulado en 2003, y no mucho tiempo después, China, India y Japón lanzarían sondas lunares, entre 2007 y 2008. Además, nuevos actores estatales comenzaron a invertir recursos sustanciales y energía en el desarrollo espacial: Brasil construyó su propio lanzador, Corea del Norte intentó lanzar un satélite a órbita, Corea del Sur comenzó su propio programa de cohetes, y en un momento de tensión política y militar, Irán puso en órbita su primer satélite. En consecuencia, ante una presencia mayor en el número de actores estatales y no estatales en el espacio exterior, y a medida que la Revolución en los Asuntos Militares (RAM) de las últimas dos décadas ha traído consigo una creciente dependencia de las tecnologías satelitales, el interés académico en la militarización y las futuras interacciones geopolíticas de los Estados con las órbitas de la Tierra y sus regiones espaciales cercanas, comienzan a ser cada vez más apremiantes.

Sin embargo, el futuro de la presencia colombiana en el espacio exterior, en contraste con el de otros actores estatales, no sería del todo clara, si se toma en consideración que los problemas con el financiamiento y la fijación de objetivos de una política espacial por parte del Estado colombiano son todavía recurrentes. Por ende, para comprender, diseñar y aplicar una futura estrategia espacial por parte de Colombia, es esencial entender el espacio exterior como un dominio estratégico. En efecto, la utilidad del análisis geopolítico como marco metodológico en el estudio del espacio ultraterrestre, parte del principio de que el espacio exterior es uno de los cinco dominios estratégicos de un Estado (los otros son tierra, mar, aire y ciberespacio), que, si bien son distintos, están interconectados (Lonsdale, 1999; Álvarez, Santafé y Burbano, 2017).

Cohen (2014) ha señalado que el significado del término "geopolítica" es ambiguo, ya que podría señalar muchas formas diferentes de analizar la conexión entre el espacio y la política. No obstante, la geopolítica como disciplina de la geografía humana, al ser un subcampo en una frontera entre las ciencias sociales y la geografía, se centra en el análisis de la relación entre los procesos políticos y el espacio geográfico. Empero, esta relación no solo incluye patrones geográficos sino también el de hallazgos de otros campos (economía, demografía, etc.), por lo que el análisis geopolítico apunta a una investigación más profunda de casos seleccionados, y en un contexto global (Glassner, 1996). En este orden de ideas, para Grygiel (2006, p. 43) la geopolítica es "una realidad objetiva, independiente de los deseos e intereses estatales, que está determinada por rutas y centros de recursos". Es decir, Grygiel (2006, p. 22) entiende la "geopolítica" como:

El factor humano dentro de la geografía. Es la distribución geográfica de centros de recursos y líneas de comunicación, asignando valor a las ubicaciones según su importancia estratégica. La situación geopolítica es el resultado de la interacción de la tecnología ampliamente definida y la geografía, que altera la importancia económica, política y estratégica de las ubicaciones.

Con base en la definición anterior, este capítulo entiende la geopolítica como una herramienta para el estudio de un espacio geográfico específico en el contexto de la lógica estratégica de los actores que actúan dentro de un dominio influenciado por su entorno, tomando en cuenta que "la política espacial internacional puede tratarse como la proyección de la geopolítica terrestre" (Wang, 2013, p. 154). Es necesario mencionar que los autores de este capítulo rechazan los puntos de vista anti-geopolíticos de Ó Tuathail (1996) y MacDonald (2007), ya que parecieran omitir que "la perspectiva geopolítica es dinámica, y evoluciona a medida que cambia el sistema internacional y su entorno operativo" (Cohen, 2014, p. 5). Sin embargo, no significa

que permanezcan ciegos respecto de algunas ideas y temas perspicaces aportados por la escuela de la geopolítica crítica, ya que el cuestionamiento a los intentos de la geopolítica clásica de establecer reglas y principios tiene ciertamente algún valor, por lo que el desafío a la geopolítica clásica y al determinismo geográfico que surgió en el campo de la geopolítica crítica no puede omitirse.

Entonces, este documento analiza el espacio exterior como dominio geopolítico a partir de los marcos metodológicos de las escuelas geopolíticas angloamericana, francesa y colombiana, representados en los aportes teóricos y conceptuales de Dolman (2005), Dussouy (2010), Al-Rodhan (2012) y Álvarez (2017a). Con relación a las contribuciones de la escuela geopolítica francesa (Lévy, 2000; Dussouy, 2010), éstas guardan similitudes con el enfoque de la moderna escuela geopolítica angloamericana de la meta-geopolítica (Al-Rodhan, 2012), pero son distintas de la última, ya que no reconoce explícitamente los tipos de acciones que se logran mediante la utilización del espacio, sino que se centran en la composición del entorno geopolítico dentro de diferentes escenarios. La escuela geopolítica francesa trabaja con la visión holística de la geopolítica, entendida como un sistema de espacios que incluye todas las áreas de la actividad humana, desde las características físicas de un territorio dado, a las relaciones económicas, el poder militar, etc.

En consecuencia, los autores de este capítulo toman en consideración el hecho de que la utilización del espacio exterior no es un proceso conformado simplemente por las características físicas del dominio en combinación con los intereses militares. Por el contrario, ofrecen algunas propuestas para futuras actividades colombianas en el dominio del espacio ultraterrestre que no se limitan a la dimensión militar, presentando el espacio exterior como un espacio físico y natural; un campo diplomático-militar; también socioeconómico, siguiendo así la perspectiva presentada por Dussouy (2010). En efecto, Dussouy (2010) propone cinco campos que deberían analizarse para comprender la geopolítica como una disciplina holística, y para entender cualquier espacio o territorio en particular: 1) espacio físico y natural; 2) espacio demográfico; 3) campo diplomático-estratégico; 4) campo económico y 5) campo simbólico.

La razón por la que este capítulo trata solo con tres de ellos es simple: primero, no se aborda el espacio demográfico, ya que la única estructura habitada permanentemente en el espacio exterior en la actualidad es la Estación Espacial Internacional (EEI)¹; en segundo lugar, no se trata el campo simbólico², puesto que la investigación del

1. Y en el futuro previsible, el número de habitantes no será lo suficientemente grande como para proporcionar un análisis demográfico extenso.

2. Para mayor información con relación a este campo, véase Bormann y Sheehan (2009).

papel del espacio exterior en la cultura popular o del discurso oficial sobre el espacio estaría más allá del alcance de este trabajo. Sin embargo, ambos dominios del espacio exterior se mencionan a lo largo del análisis (por ejemplo, sitios potenciales para el asentamiento humano en cuerpos celestes o efectos de diferentes escuelas de pensamiento sobre el desarrollo de la estrategia espacial), ya que el análisis geopolítico se compone de una comprensión integral de todos los factores que influyen en las relaciones de poder (Al-Rodhan, 2012).

Por último, Graham (2004) ha señalado que la geopolítica ha tendido a ser un discurso plano, preocupado solo por los eventos en el eje horizontal de la superficie terrestre. El trabajo de Graham, así como los de Weizman (2007), Williams (2007; 2010) y Álvarez (2017b), afirman que se debería tener en mayor consideración la dimensión vertical del territorio soberano, al considerar el espacio de batalla contemporáneo y la seguridad de las fronteras tridimensionales del moderno Estado-nación; sin embargo, este compromiso geopolítico con la dimensión aérea se ha detenido en los límites de la atmósfera terrestre, lo que sugiere una presencia de una línea imaginaria que lo separa del vacío del espacio exterior.

Por ende, las consecuencias para la seguridad multidimensional de esta “falta” de territorio soberano en el espacio ultraterrestre han impulsado un creciente interés en este ámbito en los últimos años. El espacio exterior, así como la tierra, el mar y el aire, sirve como un nuevo “escenario” geográfico, no sólo para la exploración y cooperación humana, sino también para la explotación y la competencia; y como la tecnología que se ha desarrollado hace que la exploración y explotación de este nuevo “espacio” humano sea posible, con el aumento de la capacidad tecnológica, los Estados que participan en el espacio exterior han trascendido las limitaciones geográficas tangibles de sus territorios terrestres, proyectando al espacio exterior, las relaciones geopolíticas. Por tanto, este capítulo tiene como objetivo proponer los imperativos astropolíticos de Colombia, basados en los marcos metodológicos de la astropolítica (Dolman, 2005) y la ocupación de espacios vacíos (Álvarez, 2017a).

2. Astropolítica: una aproximación geopolítica del Sistema Solar

Como ya se mencionó, la “geopolítica” ha sido un concepto controvertido. Tanto así, que en la actualidad existirían dos perspectivas académicas distintas: la crítica y la clásica³. Por un lado, la geopolítica crítica ha estado “dedicada al estudio de cómo el espa-

3. Para la geopolítica clásica, véase Parker (1985); Gray y Sloan (1999); Cohen (2014). Para la geopolítica crítica, Agnew y Corbridge (1995); Ó Tuathail (1996); Ó Tuathail et. al. (1998).

cio geográfico está representado por los actores políticos como parte de un proyecto más amplio de acumulación, gestión y engrandecimiento del poder” (Bassin, 2004, p. 620); por otro lado, la geopolítica clásica “trata el espacio geográfico como una precondition existencial para toda política”, por lo que “debe servir como punto de partida para todo análisis político y formulación de políticas” (Bassin, 2004, p. 621). Como la geopolítica clásica es en realidad la “geopolítica” en su uso convencional, y se agrega la etiqueta “clásica” para distinguirla de la geopolítica crítica progresiva y de izquierda, los autores de este capítulo utilizan el término “geopolítica” como un sinónimo de la geopolítica clásica⁴.

Desde el punto de vista académico, la geopolítica es en realidad un cuerpo particular de pensamiento que “aborda las preguntas en la confluencia de tres disciplinas académicas dispares y sus preocupaciones fundamentales: geografía, historia y estudios estratégicos” (Sloan, 2017, p. 7). A partir de este cuerpo de pensamiento, se espera desarrollar un marco de análisis para la política y la estrategia en la política mundial, y en vista de su núcleo teórico, podría decirse que la geopolítica puede considerarse una rama integral de las teorías realistas en Relaciones Internacionales, es decir, una forma particular de realismo⁵ que se basa en la influencia de los entornos naturales definidos por la geografía y la tecnología (Ashworth, 2010). Esto es así no solo porque realistas prominentes como Henry Kissinger y Zbigniew Brzezinski han afirmado que la geopolítica racionaliza los análisis estratégicos o justifica las recomendaciones políticas, sino también porque, como un cuerpo particular de pensamiento, comparte con las teorías realistas las mismas suposiciones teóricas o “sesgos”⁶, como, por ejemplo, que un orden internacional estable dependería del mantenimiento de un “equilibrio de poder” en el sistema⁷.

La geopolítica clásica trata de los patrones recurrentes de desarrollo e interacciones de varios actores geopolíticos en un espacio geográfico determinado. Integra tres tipos de actores geopolíticos (poderes marítimos, poderes terrestres y poderes híbridos tierra-mar), y al menos cinco variables de poder tecnológico (marítimo, terrestre, aéreo, espacial y cibernético). En otras palabras, la economía y la tecnología son integrales, y no serían ajenas a la geopolítica clásica. Pues bien, la aparición de

4. Durante muchos años, la geopolítica ha sufrido abusos por falta de una rigurosa definición, lo cual ha obstaculizado el progreso de su estudio. Para una excelente discusión de las definiciones de geopolítica, ver Osterud (1988); Owens (2015); Sloan (2017). Para la evolución del pensamiento realista clásico, incluida la geopolítica clásica, véase Haslam (2013).

5. Para la congruencia entre la geopolítica clásica y las teorías realistas en Relaciones Internacionales, especialmente las clásicas, ver también Hepple (1986); Gray (2004); Ashworth (2013); Owens (2015).

6. El realismo no es una teoría, sino una escuela de teorías que comparten algunos supuestos teóricos comunes. Para un resumen de las definiciones canónicas del realismo en Relaciones Internacionales, ver Donnelly (2000); para la evolución de las teorías realistas contemporáneas, ver Guzzini (1998).

7. Para ampliar los aportes del realismo a la teoría del equilibrio de poder, ver Lévy (2003; 2004; 2012).

nuevos centros de poder económico y los cambios en la comunicación, el transporte y la tecnología de armas vienen alterando los cálculos geopolíticos de un Estado, lo que obliga al geopolitólogo a ajustar su marco de análisis a los nuevos escenarios de competencia, entre los cuales se encuentra el espacio exterior, ya que la geopolítica clásica es una síntesis de geografía, historia y estrategia. Por ende, la relevancia de los principales postulados de la geopolítica clásica para los estudios geopolíticos del espacio ultraterrestre se basa en el hecho de que las realidades geopolíticas, especialmente la interacción entre la geografía, la tecnología y las actividades humanas, siguen siendo importantes para la política y la estrategia.

De acuerdo con Dolman (2005), la "astropolítica" estudia la "relación entre el espacio ultraterrestre y la tecnología, así como el desarrollo de directrices y estrategias de carácter político y militar" (p. 12). Por su parte, la "astroestrategia" es la "identificación de ubicaciones críticas en el espacio ultraterrestre y la Tierra, cuyo control puede proporcionar el dominio militar y político del espacio exterior" (p. 12).

Como la geografía política se centra en las relaciones realizadas por el hombre a partir de concepciones artificiales de Estado, nación y país (Álvarez, Ramírez y Castaño, 2018), la geografía política es una subdivisión de la geografía humana que estudia la relación entre las fronteras políticas y los dinámicos procesos sociopolíticos; se diferencia de la geopolítica en que no busca inherentemente un resultado geográficamente determinista. En este orden de ideas, la "astrografía política" sería la contraparte espacial de las disciplinas de la física y la geografía política vinculadas a la Tierra; sería la descripción de las características físicas del espacio exterior, superpuestas con límites y características derivadas por la política y la tecnología, (por ejemplo, el cinturón geoestacionario). Sin embargo, a diferencia de la geografía política, que no afirma tener una relación sinérgica con la geopolítica, la astrografía es un elemento fundamental de la astroestrategia.

La astropolítica es una extensión de las teorías de la geopolítica clásica de los siglos XIX y XX a la conquista humana del espacio exterior. En una interpretación más general, es la aplicación de la visión realista prominente y refinada de la competencia estatal en la política del espacio ultraterrestre, por lo que Dolman (2005) combina los aportes de las escuelas del terreno elevado y de control, argumentando la necesidad de una visión realista en el desarrollo de la teoría del poder espacial.

2.1 Antecedentes teóricos de la astropolítica

La geopolítica es tan antigua como el estudio mismo de la política; en efecto, Aristóteles, Platón y otros pensadores de la antigüedad entendieron claramente que la política estaría conformada y limitada por la naturaleza. Sin embargo, la geopolítica como disciplina académica tuvo su origen en la Europa de fin de siglo⁸, en respuesta a una serie de revoluciones tecnológicas en la comunicación, el transporte y el armamento, así como en la creación de un "sistema político cerrado" que iría conformándose a medida que los descubrimientos geográficos europeos y la competencia imperialista extinguieron las "fronteras" globales (Owens, 2015).

En consecuencia, la geopolítica del fin del siglo XIX generó tres líneas principales de pensamiento: la geopolítica angloamericana, la geopolítica alemana y la geopolítica francesa. Sin embargo, desde el final de la Segunda Guerra Mundial, la geopolítica alemana (a excepción de algunos estudios históricos críticos), ha desaparecido de los estudios de la geografía y las Relaciones Internacionales, debido a la asociación de teóricos como el biólogo y geógrafo alemán Friedrich Ratzel, el científico político sueco Rudolf Kjellen, y el general germano Karl Haushofer, con la política exterior de los nazis durante la Segunda Guerra Mundial. Se cree que la *Geopolitik* (la ciencia alemana de la geopolítica), llevó el estudio geopolítico a un extremo pervertido al afirmar que las características geográficas de la tierra justificaban la expansión racial alemana. La consecuencia de la degeneración nazi fue que la geopolítica como actividad académica se convirtió en una víctima de la guerra, y el estudio de la geopolítica se consideró una perversión de su origen intelectual⁹. Por su parte, la geopolítica francesa, a pesar de sus rasgos manifiestamente humanísticos, también se ha desvanecido, y tan solo su legado intelectual podría encontrarse en los estudios de la geografía política del presente¹⁰ (Hepple, 1986)

Solo la geopolítica angloamericana sobrevivió en la era de la posguerra, y después de un declive inicial en los primeros años, fue recuperada progresivamente desde la década de 1970 por figuras tan prominentes como Henry Kissinger, Zbigniew Brzezinski y Colin S. Gray. Por ende, la geopolítica angloamericana ha tenido un grupo de teóricos altamente reconocidos, basada principalmente en las contribuciones de tres pensadores geopolíticos prominentes: el historiador naval estadounidense Alfred Thayer Mahan, el geógrafo político británico Halford John Mackinder y el politólogo

8. Para los orígenes de la geopolítica moderna, ver Kristof (1960); Parker (1985); Dodds y Atkinson (2000).

9. Para mayor información sobre la *geopolitik* alemana y su asociación con las políticas exteriores expansionistas de los nazis antes de 1945, ver Whittlesey (1942) y Murphy (1997).

10. Para la geopolítica alemana y la geopolítica francesa, ver Dijkink (1996); Parker (1998); van der Wusten y Dijkink (2000).

estadounidense Nicholas John Spykman¹¹. Esas tres teorías son homogéneas en naturaleza y complementarias en sustancia, por lo que teóricamente podrían tratarse como una totalidad orgánica, ya que sentaron las bases más importantes para el posterior análisis geopolítico y la teoría geopolítica.

En términos de orientación teórica, Mahan, Mackinder y Spykman se consideran unánimemente realistas, y sus credenciales realistas ya se han debatido en diversos trabajos académicos (Russell, 2006; Ashworth, 2010; Gray, 2015). Esas tres teorías comparten con las teorías realistas convencionales los mismos supuestos sobre la naturaleza anárquica del sistema internacional, que la unidad de análisis preferente es la del Estado, y que las dinámicas entre las unidades de análisis están determinadas por las capacidades de poder. Es en este sentido que la geopolítica clásica, encarnada en las teorías de Mahan, Mackinder y Spykman, puede considerarse una parte integral de las teorías realistas en Relaciones Internacionales. En otras palabras, la geopolítica clásica sería en realidad una forma particular de realismo, basada en la influencia de los entornos naturales definidos por la geografía y la tecnología.

La característica principal de las teorías realistas es la suposición de la anarquía internacional, la cual implica caos o desorden (Waltz, 1979). Esta falta de orden se asociaría con la existencia de un estado de guerra y se vincularía con la analogía hobbesiana de la política en ausencia de un soberano. En este sentido, para los realistas, las relaciones internacionales representan un conflicto perpetuo entre Estados, asemejándose a un juego de suma cero; y el sistema internacional sería en realidad un escenario caótico de guerra de todos contra todos (Bull, 2002). La geopolítica clásica también asume que las relaciones internacionales estarían basadas en el estado de naturaleza hobbesiano, y que la guerra es típica de la actividad internacional en su conjunto.

Por tanto, la geopolítica clásica describió un mundo del poder marítimo vs. el poder terrestre, el mundo marítimo vs. el continental, *heartland* vs. *rimland*, y así sucesivamente (Fettweis, 2015; Kaplan, 2015), tratando de representar que los Estados están en competencia perpetua y existencial, lo que ocasionalmente produce conflictos. El cambio de poder causado por los avances en la tecnología, así como por la aparición de nuevos centros de recursos naturales y poder económico, no solo constituyen los temas perdurables de la geopolítica clásica, sino que también son indicativos de la naturaleza competitiva en un ambiente de anarquía internacional percibida por los pensadores geopolíticos clásicos.

11. Para Mahan, Mackinder y Spykman, ver Sumida (1999); Sempa (2002); Hughes y Heley (2015); Gray (2015).

Para las teorías realistas, la unidad de análisis más justificada son los Estados territoriales soberanos, ya sean Estados dinásticos característicos de los primeros tiempos de la modernidad, o Estados nacionales del mundo contemporáneo. Así mismo, los Estados constituyen la unidad básica de análisis en la geopolítica clásica, considerándose objetos espaciales, y sus interacciones, como fenómenos espaciales (Parker, 1998), por lo que, en esencia, la geopolítica clásica “consiste en el estudio de los Estados como un fenómeno espacial, con el fin de llegar a una comprensión de las bases de su poder y la naturaleza de sus interacciones” (Parker, 1991, p. 22). Los Estados en la geopolítica clásica (como en las teorías realistas), son actores egoístas por naturaleza, y los más importantes son aquellos que se definen por su tamaño territorial, sus ubicaciones geográficas, sus recursos materiales y sus orientaciones estratégicas (Gerace, 1991). Por tanto, las grandes potencias serían las marítimas, las terrestres o continentales, y las híbridas del *rimland* (Álvarez, et al., 2018).

Al igual que las teorías realistas, la geopolítica clásica también exhibe una tendencia inequívocamente materialista caracterizada por la política de poder. Teóricamente, la geopolítica clásica integra dos conjuntos distintos de variables: geografía (incluida la geografía natural y humana), y tecnología (incluida la tecnología material y organizativa). Lo que le preocupa a la geopolítica clásica son las interacciones entre la geografía y la tecnología, así como todas las implicaciones políticas o estratégicas resultantes de esas interacciones (Walton, 2007). Según Grygiel (2006), la geopolítica clásica incorpora tres tipos principales de actores geopolíticos (poderes marítimos, poderes terrestres y poderes híbridos tierra-mar), e integra al menos cinco variables de poder o tecnología (poder marítimo, poder terrestre, poder aéreo, poder espacial y poder cibernético). Con base en lo anterior, lo que el análisis geopolítico pretende comprender son las implicaciones políticas y estratégicas del cambio de esas cinco variables de poder (tecnología), para los tres tipos de actores geopolíticos en la política mundial. En otras palabras, cómo el cambio de tecnología puede alterar las implicaciones políticas o estratégicas de los determinantes geográficos de la política y la estrategia (Álvarez, et al., 2017a).

A pesar de compartir los mismos supuestos teóricos, la geopolítica clásica se distingue de las teorías realistas convencionales por tres características: primero, la geopolítica clásica es holística más que reduccionista, es decir, integra las variables a nivel de unidad y de sistema¹²; la geopolítica podría definirse en principio en términos generales, como el estudio del escenario internacional desde una perspectiva espacial o geocéntrica, y la comprensión del todo como su objeto y justificación final. Una parte

12. Para el nivel de análisis, ver Buzan (1995).

esencial de la geopolítica clásica es el examen de los componentes, pero esto se lleva a cabo con el propósito de alcanzar una comprensión más clara del todo; los Estados individuales pueden verse como los ladrillos, "pero son los patrones y las estructuras que hacen en combinación los principales intereses de la investigación geopolítica" (Parker, 1985, p. 22)

En segundo lugar, la geopolítica clásica es dinámica más que estática, por lo que está equipada para explicar los cambios y la continuidad en la política mundial. Lo que describe la geopolítica clásica es el nexo de factores geográficos y desarrollos tecnológicos, los cuales tienden a ser dinámicos en la medida que el surgimiento de nuevas tecnologías puede alterar las implicaciones políticas o estratégicas de la geografía (Grygiel, 2006). Tercero, la geopolítica clásica es interdisciplinaria por naturaleza, ya que, como ciencia de la política y la estrategia, es una síntesis de tres disciplinas distintas: geografía, historia y estrategia (Álvarez, et al., 2018).

En resumen, de lo que se ocuparía principalmente la geopolítica es de la interacción entre geografía y tecnología, así como de las implicaciones políticas y estratégicas de esa interacción; además, intenta llamar la atención sobre la importancia de ciertos patrones geográficos en la historia política o estratégica. De allí se pueden deducir ciertas explicaciones o predicciones para ayudar a las personas a comprender la situación a la que se enfrentan, así como sus implicaciones o consecuencias políticas o estratégicas (Sloan, 2017).

Según Dolman (2005), la influencia de las tecnologías emergentes en la geografía es la base del pensamiento de los estrategas geopolíticos, y uno de los primeros que comprendió esta relación fue el economista alemán Friedrich List (1909a; 1909b; 1909c). En efecto, su mayor contribución a la estrategia moderna fue su elaborada discusión sobre la influencia de los ferrocarriles en el cambiante balance del poder militar en Europa, al reconocer que la plena incorporación de esta nueva tecnología de transporte alteraría fundamentalmente las relaciones políticas de las grandes potencias. List (1983) vio una red ferroviaria nacional como el cemento de la unificación alemana, cambiando la posición estratégica de Alemania de un campo de batalla asediado de Europa, a un baluarte defensivo que operaría con las ventajas de las líneas interiores. Antes del ferrocarril, Alemania tenía que mantener ejércitos separados en el este y el oeste (y ocasionalmente en el sur), pero con esta nueva tecnología, el poder militar podría transferirse rápidamente de frente a frente según fuese necesario; eventualmente, la importancia militar de la energía ferroviaria que List describiría fue validada abrumadoramente con la victoria de los Estados del norte en la Guerra Civil

de los Estados Unidos, y más enfáticamente en el espectacular éxito alemán en la Guerra Franco-Prusiana.

El poder ferroviario no tendría un paralelo claro con el poder espacial, con la excepción de que, como una nueva tecnología de transporte e información, el despliegue de activos espaciales seguramente tendrá el potencial de alterar las relaciones políticas y militares de los poderes tradicionales a nivel global y regional. En cierto sentido, el control de una red espacial global brindaría las ventajas previas de las líneas interiores (rápida reubicación de los activos militares, monitoreo eficiente de todos los frentes, e incluso, un sentido nacionalista de unificación), de lo que tradicionalmente se ha visto como una clásica posición de línea exterior. Éste sería un debate en curso sobre el surgimiento de las comunicaciones e información en los entornos espaciales, que pronto podría intentar involucrar al ciber-espacio en términos geopolíticos similares¹³.

Como marco teórico, la geopolítica clásica incorpora un cuerpo bien establecido de teorías estratégicas. Basado en los trabajos de Mahan, Corbett, Mackinder, Spykman, Douhet, Mitchell, De Seversky y Warden¹⁴ (Álvarez et. al, 2018), se desarrollarán a continuación las principales teorías de la geopolítica clásica, como antesala a la proposición de la astropolítica y los imperativos astropolíticos de Colombia.

2.1.1 El poder marítimo desde la perspectiva de Mahan y Corbett.

Mahan (1890) creía que el poder marítimo era la clave para que un Estado pudiese alcanzar el estatus de gran potencia (Álvarez, et al., 2018), y consideraba que este poder estaba en cierta medida geodeterminado. Para lograr el poder marítimo supremo, un Estado debía estar dotado de una costa “fronteriza” adecuada, así como puertos numerosos y profundos¹⁵, fácil acceso a mar abierto, y una población proporcionada (en la medida de lo posible), a la costa del mar que tendría que defender. Mahan

13. La fibra óptica proporciona una enorme capacidad de transmisión de datos, pero limita al usuario al acceso por cable. Y si bien es potencialmente más segura, puede ser objeto de interrupciones a través de métodos convencionales (simplemente cortar la línea). En contraste, las comunicaciones espaciales son más caras y requieren un mantenimiento mucho mayor, pero no limitan la ubicación del usuario ni la cobertura del objetivo. Aunque las comunicaciones basadas en el espacio requieren técnicas de encriptación sofisticadas para la seguridad, y pueden estar limitadas por interferencias electrónicas, actualmente son extremadamente seguras.

14. Para estudiar la filosofía del poder marítimo de Mahan, ver Mahan (1890; 1892; 1987; 1905); y de Corbett, véase Corbett (1911). Para las principales obras de Mackinder, ver Mackinder (1902; 1904; 1943; 1962). Para los trabajos principales de Spykman, ver Spykman (1942; 1944). Para los teóricos del poder aéreo, ver Douhet (1942); Mitchell (1925) y De Seversky (1941; 1942; 1951), y Warden (1995; 1998).

15. En el ámbito de la astrostrategia, existirían analogías con una “costa” o frontera adecuada en el espacio, en la cual, en lugar de puertos marítimos, un Estado espacial debería estar dotado en la Tierra de sitios efectivos de lanzamiento, monitoreo y control de activos espaciales.

creía que un Estado dotado de una posición geográfica que permitiera tanto la concentración de las fuerzas navales como, cuando fuera apropiado, su dispersión, era primordial en la ecuación del poder estatal moderno¹⁶.

Sin embargo, tales características físicas ventajosas no garantizarían que el Estado marítimo tuviera las herramientas necesarias para el dominio naval. La cultura marítima de un Estado también jugaría un papel central, ya que apreciaría el valor de la actividad basada en el mar. Además, dicha cultura debiera ser comercialmente agresiva, buscando generar ganancias racionales que reconocieran la generosidad potencial del comercio marítimo. Esta conciencia marítima formaría la flota comercial en tiempos de paz, adquiriendo las habilidades y la experiencia necesarias para hacer una gran reserva nacional para la movilización en conflictos, respaldando en todo momento (mediante sus impuestos y otras contribuciones), la vitalidad de la empresa nacional basada en el mar. El gobierno también debía estar equipado con instituciones apropiadas y funcionarios políticos capaces de reconocer y aprovechar la posición y los atributos del Estado en un entorno comercial altamente competitivo. Tal carácter nacional también sería evidente en el potencial de éxito en los esfuerzos espaciales; todos los Estados han intentado aprovechar una fascinación nacional con la exploración espacial, con promesas de grandes ganancias y aventuras, ya la importancia del espacio como sede de la actividad económica y militar en la actualidad, se asemejaría en ciertos aspectos a las condiciones del comercio marítimo y el poder naval a fines del siglo XIX.

Aunque sus escritos más importantes aparecieron antes de que se acuñara el término "geopolítica", Mahan (1890) contribuyó sustancialmente a la geopolítica a través de un examen detallado de una lucha de cuatro siglos entre el poder continental europeo y el poder marítimo insular, para el control político de Europa y sus mares adyacentes. Primero, fueron los Habsburgo austríaco-españoles quienes poseían un poder abrumador que asustó a todos los demás y amenazó con unificar la región. Luego, la Francia de Luis XIV amenazó con alcanzar la preponderancia en el continente que, de haber tenido éxito, le hubiese permitido desarrollar el poder marítimo y convertirse, por tanto, en un serio peligro para toda Europa. Posteriormente, sería el turno de Napoleón de buscar el predominio de Francia, no solo en Europa, sino en todo el mundo.

Mahan (1892) ilustró el vínculo entre la supremacía marítima británica y el equilibrio de poder europeo más vívidamente en su examen de la lucha anglo-francesa

16. Al tener una opinión similar a la de List (1983), Mahan vio que la capacidad de retraer rápidamente a las fuerzas para la defensa del Estado y luego moverlas en la prosecución de acciones ofensivas, era la característica que permitió a poderes navales como la antigua Atenas y Gran Bretaña lograr la hegemonía en sus respectivas eras.

de 1792 a 1815. Como argumentó, Napoleón controlaba bajo conquista o alianza la mayor parte del continente europeo, e intentó cerrar todos los puertos continentales a los barcos británicos; su intención era “apoderarse de las armadas de Europa y combinarlas en un ataque directo sobre el poder marítimo británico” (Mahan, 1892, Vol. II, p. 276). Mahan entendió que el dominio de Francia en el continente europeo le ofreció a Napoleón la oportunidad de utilizar todos los recursos del continente para constituir un poder naval superior y así derrotar a los británicos en el mar. En este orden de ideas, la Francia napoleónica no solamente amenazó a Gran Bretaña sino al mundo entero, ya que la hegemonía europea francesa, más la derrota del poder marítimo británico, significarían la dominación mundial para Francia (Mahan, 1897); lo que estaba en juego era, en realidad, el equilibrio global de poder.

En opinión de Mahan, la supremacía del poder marítimo sobre el poder terrestre radicaba no solo en la conveniencia y la economía del transporte por mar, sino también en la productividad de la base terrestre, así como del equilibrio de poder europeo. Si el continente europeo estuviera dominado por una sola potencia, podría derrotar a Gran Bretaña en su propio elemento, o como dijo Napoleón, “conquistar el mar por tierra” (Mahan, 1890, p. 27); por eso Gran Bretaña tuvo que luchar contra Napoleón hasta el final. Como lo ha atestiguado la historia a través de los siglos, si bien los Estados marítimos pueden usar el poder naval (así como el poder aéreo y espacial desde el siglo XX) para defenderse, no pueden permitirse el lujo de que surja un rival continental hegemónico, uno que pueda aislarlos y luego desafiarlos por el dominio de los mares a través del control continental. Esto explica por qué las potencias marítimas dominantes, aunque tienen pocos incentivos para expandir su influencia en el continente, intervienen regularmente en el continente para restablecer allí el equilibrio de poder. Sin embargo, dentro de los poderes marítimos, ha surgido regularmente tensión entre aquellos que han abogado por una gran estrategia con compromisos continentales, y aquellos que han instado a una estrategia marítima pura sin enredos continentales.

A pesar de que Corbett (1911) escribió sobre los mismos temas que Mahan, muchos consideran que la teoría y las estrategias de Corbett son más precisas y completas que las mahanianas (Klein, 2004). Corbett escribe sobre las implicaciones del poder nacional de las operaciones marítimas tanto en tiempos de paz como de guerra, y además de abordar el impacto obvio contra las fuerzas navales, Corbett (1911) destaca repetidamente el papel de la acción marítima en el comercio y la economía. Según sus apreciaciones, interferir con el comercio del enemigo no es solo un medio de ejercer presión económica, sino también un mecanismo para derrocar el “poder de

resistencia" del adversario. Efectivamente, la economía de un Estado es un factor importante para mantener una guerra prolongada, y "en igualdad de condiciones, es el bolsillo más hondo el que gana" (Corbett, 1911, p. 102). En consecuencia, la guerra naval debe intentar socavar la posición financiera del enemigo. Como el objetivo de la guerra naval es proteger y defender las comunicaciones marítimas, y las actividades marítimas influyen en el bienestar económico de los Estados, Corbett (1911) deduce que la acción naval puede influir en el equilibrio de poder y riqueza entre los Estados.

No obstante, aunque afirma que la acción naval es importante en la guerra, Corbett (1911) advierte que las fuerzas terrestres y marítimas son interdependientes y, por tanto, deben trabajar juntas para lograr el objetivo político, ya que la estrategia y las operaciones navales son solo un subconjunto de las operaciones generales en tiempos de guerra. Como resultado, el propósito de la estrategia marítima de un Estado es determinar las "relaciones mutuas de su ejército y armada en un plan de guerra" (Corbett, 1911, p. 16). A diferencia de Mahan (1890), Corbett creía que era primordial que la estrategia naval funcionase dentro de una estrategia general de guerra, ya que era casi imposible que la guerra se decidiese solo por la acción naval. Además, como la población vive en la tierra y no en el mar, el desenlace de la guerra entre Estados siempre se ha decidido por "lo que un ejército puede hacer contra el territorio y la vida nacional de un enemigo, o bien por el miedo a lo que una marina pueda hacer para facilitar el despliegue de un ejército en tierra" (Corbett, 1911, p. 16).

Las comunicaciones marítimas pertenecen a aquellas líneas de comunicación por las cuales el flujo de "vida nacional se mantiene en tierra", por lo que tienen un mayor significado y no son análogas a las líneas de comunicaciones tradicionalmente utilizadas por los ejércitos terrestres. Corbett (1911) describe cómo las líneas de comunicación terrestres de cada beligerante tienden a correr aproximadamente en direcciones opuestas, hasta que se encuentran en el teatro de operaciones. Por el contrario, las líneas de comunicación marítimas de cada beligerante tienden a correr en paralelo, o incluso pueden ser una misma. Debido a que las líneas marítimas de comunicación entre los beligerantes a menudo se comparten, Corbett (1911, p. 100) declaraba que "no podemos atacar las del enemigo sin defender las nuestras".

Como resultado, la estrategia naval tendría como objetivo principal el control del paso y la comunicación, por lo que una flota naval se ocuparía principalmente de proteger las propias líneas marítimas de comunicación y apoderarse de las del enemigo. Si bien las comunicaciones marítimas incluyen líneas de suministro y comercio, también comprenderían líneas de comunicación que son de naturaleza estratégica y,

por tanto, críticas para la supervivencia de un Estado. En este sentido, Corbett (1911) describe tres tipos de línea de comunicación marítima: aquellas para apoyar a la flota naval, las requeridas por un ejército de ultramar y las rutas comerciales.

Estrechamente relacionada con las comunicaciones marítimas estaba la idea del “comando del mar”. Según Mahan (1890) y Corbett (1911), dado que el mar es valioso por ser un medio de comunicación, el objeto de la guerra naval siempre será el de asegurar el dominio del mar. Como el mar no puede estar sujeto a dominio o propiedad política (al menos en aguas internacionales), y los Estados no pueden ser excluidos de los océanos, el “comando del mar” solo existe en un estado de guerra. Corbett (1911) diferencia el comando del mar en función del tamaño del área dominada (general o local), y la duración en que se logra (temporal o permanente). El comando general se logra cuando el enemigo ya no es capaz de actuar “peligrosamente” contra las propias líneas de paso y comunicaciones, o cuando incluso no tiene las capacidades para defender las suyas; como resultado, el enemigo no puede interferir seriamente contra las propias actividades comerciales, militares o diplomáticas. Aunque el comando del mar es importante para proteger las comunicaciones marítimas, Corbett observa que la historia ha demostrado que el estado normal de las cosas no es un mar “ordenado” sino uno “desordenado”, lo que indicaría que el comando normalmente está en disputa.

Mahan (1890) y Corbett (1911) también reflexionan sobre el uso de posiciones estratégicas, concordando en que la victoria en el mar depende de la fuerza relativa de la fuerza propia contra la del enemigo, así como la explotación de las posiciones. Por posiciones se refieren a bases navales, puertos de comercio marítimo y áreas focales donde las rutas comerciales tienden a converger (estrechos o canales). Estas posiciones estratégicas influyen en el movimiento del comercio o las flotas y, si se explotan correctamente, se crean condiciones favorables para la batalla; las posiciones estratégicas permiten que una fuerza naval restrinja la cantidad de fuerza enemiga a enfrentar, obteniendo así una ventaja estratégica.

Así mismo, dominar posiciones estratégicas relacionadas con el comercio permite disminuir el potencial del enemigo en involucrarse en una guerra prolongada. Entonces, en lugar de buscar la flota del enemigo, es más efectivo controlar sus puertos y puntos de estrangulamiento marítimo, amenazando en consecuencia su comercio y potencialmente atrayendo a su flota a la batalla en los propios términos.

2.1.2 La teoría del poder terrestre de Mackinder, Spykman y Haushofer.

Mackinder (1902) reconoció la importancia histórica que jugó el poder marítimo en el ascenso y la desaparición de las grandes potencias, pero previó el final del dominio naval con la llegada del ferrocarril. Esta tecnología emergente permitiría la consolidación eficiente de la enorme masa continental de Eurasia, un área a la que Mackinder (1904) se refirió en un principio como el "pivote geográfico de la historia"; por ende, la principal contribución de Mackinder a la geopolítica fue la teoría del *heartland*, la cual revisó tres veces a lo largo de su carrera (Álvarez, et al., 2018). Esta teoría se basó en una revisión de las luchas históricas entre los poderes marítimos insulares y poderes terrestres peninsulares, como fueron los casos de Creta vs. Grecia; Gran Bretaña celta contra Roma y Gran Bretaña vs. las potencias continentales europeas. A partir de este análisis, Mackinder reveló tres ideas geopolíticas (Sempa, 2002): 1) el poder marítimo depende de bases terrestres seguras e ingeniosas; 2) un poder terrestre peninsular, liberado de los desafíos de otros poderes terrestres y al mando de mayores recursos, puede derrotar a los poderes marítimos insulares y, 3) la posición estratégica óptima es aquella que combina insularidad y mayores recursos.

Para Mackinder (1904), la masa continental euroasiática¹⁷ o "Isla-Mundo", tenía la característica de una potencial insularidad, por lo que un gran poder terrestre al mando de los recursos de la Isla Mundial, y liberado de los desafíos de otros poderes terrestres, también podría convertirse en el poder marítimo preeminente (Mackinder, 1962), ya que al controlar los vastos recursos naturales del *heartland*, éstos le permitirían tener acceso al mar y construir una armada que, solo por números, podría abrumar a los poderes marítimos periféricos. La tesis de Mackinder no es simplemente un caso de que el poder terrestre sea superior al poder marítimo; para derrotar el poder marítimo insular, un poder terrestre tenía que ser desafiado por tierra y poseer suficientes recursos para permitirse construir una flota lo suficientemente poderosa. En ausencia de las dos condiciones, prevalecería un poder marítimo insular como Gran Bretaña. Según esta lógica, un poder terrestre que gana el control sobre una gran parte de la Isla Mundial podría aprovechar los vastos recursos de esta prominente base terrestre para construir la armada más poderosa del mundo y abrumar a todos los poderes insulares restantes. Así, Gran Bretaña debía oponerse a cualquier poder europeo que unificase o lograra la hegemonía en el continente.

Como argumentó Mackinder (1962), el área estratégicamente más importante de la Isla Mundial era el *heartland*, que describió como la sede potencial del Imperio

17. Que contenía la mayoría de las personas y los recursos del mundo.

Mundial. Esta gran llanura ininterrumpida del interior de Eurasia, inaccesible al poder marítimo y adecuada para el poder terrestre altamente móvil, brindó a sus ocupantes la oportunidad de expandirse en todas las direcciones, excepto hacia el norte (Ártico). Mackinder (1904) admitió que los imperios anteriores basados en el *heartland* no lograron dominar el mundo, pero se atribuyó a una base insuficiente de mano de obra y a una falta de movilidad relativa con respecto al poder marítimo; no obstante, el aumento de la población y la expansión de los ferrocarriles habían eliminado esos dos obstáculos en el siglo XX. Por tanto, la dinámica clave en el reordenamiento geopolítico sería el cambio en la tecnología de transporte y la importancia de la movilidad militar. En efecto, cuando el caballo fue domesticado y criado para permitir el peso antinatural de un jinete, surgió la primacía de la caballería; adicionalmente, el desarrollo del estribo proporcionó a la caballería la capacidad necesaria para abalanzarse sobre el enemigo con el mismo poder de ataque que los guerreros de infantería podían lograr a pie con una espada o una lanza.

Posteriormente, grandes mejoras en las tecnologías de navegación marítima permitieron un aumento vertiginoso de la eficiencia y la velocidad del movimiento, cancelando efectivamente la ventaja previa de las líneas interiores basada en la caballería, de la que disfrutaban pueblos del *heartland*, como los tártaros y los mongoles. Luego, con el advenimiento de la energía de vapor y su aplicación tanto en el transporte por ferrocarril, como el fluvial y marítimo, se tuvo el efecto contra-intuitivo de acelerar inicialmente esta condición naval dominante, ya que los primeros ferrocarriles de corto alcance y barcos de vapor fluviales simplemente alimentaban bienes y suministros que hasta ahora eran inaccesibles en puertos costeros para el comercio oceánico. Sin embargo, a medida que los ferrocarriles crecieron hasta alcanzar un alcance transcontinental, Mackinder (1904) vio que el equilibrio de poder volvía a la tierra, específicamente al *heartland*. Y dado que el desarrollo de la tecnología moderna permitiría, a un imperio basado en el *heartland*, conquistar otras potencias terrestres y luego abrumar a las potencias marítimas, "los Estados de Europa occidental deberían necesariamente oponerse a cualquier actor que intentara organizar los recursos de Europa del este y del propio *heartland*" (Mackinder, 1962, p. 139). En pocas palabras, lo que Mackinder intentó transmitir con su teoría fue el vínculo inextricable entre la supremacía marítima británica y el equilibrio de poder europeo.

La cosmovisión de Mackinder dividió el mundo en tres regiones principales (Álvarez, et al., 2018): el núcleo vital euroasiático que comprendía el *heartland* o área pivote; la media luna interior formada por las regiones marginales alrededor de la periferia del *heartland* (incluyendo Europa occidental, Medio Oriente, subcontinente indio y la mayor parte de China) y, la media luna exterior, conformada por aquellas re-

giones separadas por agua del *heartland* y la media luna interior (incluyendo todo el hemisferio occidental, Gran Bretaña, Japón y Australia). Sin embargo, como lo indicó Mackinder, la media luna interior era solo un área pasiva por la que luchaban el poder marítimo y el *heartland*. Su importancia radicaba solo en que, al controlar esta área, el poder marítimo podría evitar que el poder del *heartland* organizara todo el continente euroasiático en una sola unidad. Dentro del marco de Mackinder, la media luna interior era subsidiaria tanto para el *heartland* como para la media luna exterior, y el estado subsidiario de la media luna interior correspondía bastante a la centralidad del conflicto entre el poder marítimo y el *heartland*. Es en este sentido que el cambio del estado de la media luna interior conduciría naturalmente al cambio de la importancia del conflicto entre el poder marítimo y el *heartland*.

Al igual que Mackinder, Spykman (1942) creía que la primera línea de defensa de Estados Unidos radicaba en la preservación de un equilibrio de poder tanto en Europa como en el este de Asia. Como Spykman indicó, la posición de Estados Unidos frente a Europa y el este de Asia era geopolíticamente similar a la posición de Gran Bretaña frente al continente europeo. Por tanto, los estadounidenses tenían un interés invertido en la preservación de un equilibrio de poder en Europa y Asia Oriental, ya que los británicos por su parte, tenían un interés en el equilibrio continental europeo. Basado en esta equivalencia geopolítica, Spykman (1942, p. 457) argumentó que “un equilibrio de poder en las zonas transatlánticas y transpacíficas es un prerrequisito absoluto para la independencia del Nuevo Mundo y la preservación de la posición de poder de los Estados Unidos. No hay una posición defensiva segura en este lado de los océanos”.

Spykman (1942, p. 183) advirtió inequívocamente que “si la alianza germano-japonesa saliera victoriosa de la masa continental de Eurasia y se viera en libre capacidad de orientar toda su fuerza contra el Nuevo Mundo”, Estados Unidos sería confrontado con un cerco completo sobre el cual no tendría oportunidad de prevalecer. Para evitar este cerco, Spykman (1944, p. 34) argumentó que

Nuestra preocupación constante en tiempos de paz debe ser el que ningún Estado o alianza de Estados pueda emerger como una potencia dominante en ninguna de las dos regiones del Viejo Mundo (Europa y Asia Oriental), y en la que nuestra seguridad podría verse amenazada.

A diferencia de Mackinder, Spykman nunca había vinculado explícitamente el equilibrio de poder continental con la supremacía marítima estadounidense; creía que la seguridad y la independencia de Estados Unidos solo se podía preservar mediante

una política “que haga imposible que la masa continental de Eurasia albergue un poder dominante abrumador en Europa y el Lejano Oriente” (Spykman, 1944, p. 60).

La teoría de Spykman se ha considerado coherente con la de Mackinder; por tanto, el *rimland* se ha visto como el área que el *heartland* busca controlar, lo que lo pone en conflicto con los poderes marítimos. Según Prescott (1968), la contribución de Spykman radicó solo en señalar el peligro de que el *heartland* tomara el control de esta área, porque daría lugar al cerco estratégico de los Estados Unidos. Sin embargo, esta interpretación de la teoría de Spykman sería incorrecta: el *rimland* y la “media luna interior”, aunque se superponen significativamente, no serían geopolíticamente equivalentes (Álvarez, et al., 2018); más importante aún, el papel de *rimland* en el marco de Spykman sería diferente al de la media luna interior en Mackinder. Además, la forma en que Mackinder entiende el conflicto entre el poder marítimo y el *heartland* difiere fundamentalmente de cómo lo ve Spykman. El principal conflicto en torno al cual se construye el marco geopolítico de Mackinder se produce entre el poder marítimo y el *heartland*; su enfoque primordial está en el cambio de equilibrio de poder entre ellos, lo que se explica por las nuevas tecnologías que presentan igualmente nuevas oportunidades para el potencial de poder de aquellos geográficamente dispuestos a explotarlos.

De importancia clave en el marco de Mackinder es el concepto del corazón, un área central sin litoral que incluye Rusia, Europa del Este, Mongolia y el Tíbet. El corazón es el núcleo de una unidad más grande, la masa continental de Eurasia, que es demográficamente superior y tiene una base de recursos más grande que cualquier otra unidad geográfica. El papel dominante de Gran Bretaña como potencia marítima, argumentó Mackinder (1962), se basó en el feliz accidente de que el continente europeo históricamente había permanecido dividido y, en consecuencia, nunca hubo una potencia terrestre lo suficientemente fuerte como para construir una flota que amenazara a Gran Bretaña. Sin embargo, todo esto había cambiado con los desarrollos geopolíticos; el aumento de la población y el transporte terrestre avanzado, como los ferrocarriles, amenazaron con alterar el equilibrio entre el poder marítimo y el *heartland*. Con esos desarrollos, el poder del *heartland* podría expandirse hacia afuera y controlar las áreas litorales euroasiáticas; entonces, tendría acceso al mar de manera amplia con una base de recursos superior. La lógica de Mackinder es simple y clara: dado que la Isla Mundial podría controlarse desde el *heartland*, se dedujo que un poder terrestre que controlara el *heartland* estaría en condiciones de dominar la Isla Mundial, que a su vez podría usarse como una base rica en recursos desde la cual construir una flota para dar el golpe final a los poderes del mar. Fue esta posibilidad la

que puso a las potencias marítimas en conflicto con el contendiente euroasiático con base en el *heartland* (Gray, 1988). Este es el conflicto central que anima la geopolítica de Mackinder.

Spykman también creía que el súper continente (la isla del mundo en la terminología de Mackinder), comprendía tanto el *heartland* como la media luna marginal interior, como lo identificó Mackinder. Sin embargo, Spykman (1944) revisó las categorías geopolíticas utilizadas por Mackinder: La media luna interior y las costas se unieron en una categoría denominada *rimland*, que está unida por la cadena de mares marginales que la separa de los océanos; y la media luna externa se reemplaza por los continentes en alta mar, aunque Gran Bretaña y Japón están excluidos de esta categoría y se ven como islas en alta mar. Para Mackinder, la media luna interna es subsidiaria tanto del *heartland* como de la media luna externa; empero, para Spykman, el motor principal del poder en la política mundial reside en el *rimland*, no en el aislado *heartland*. Como Spykman (1944, p. 51) argumentó:

Las luchas de poder en la historia siempre se han librado en referencia a las relaciones entre el *heartland* y *rimland*; la consternación de poder dentro del mismo *rimland*; la influencia de la presencia marítima en el litoral; y finalmente, la participación en esa presencia ejercida por el hemisferio occidental.

En otras palabras, el *rimland* nunca fue un área pasiva intercalada entre el *heartland* y el poder marítimo, como lo designó Mackinder; por el contrario, estaba compuesto por actores geopolíticos que a menudo se oponían tanto al *heartland* como al poder marítimo. En el marco de Spykman, el *rimland* no es solo una participación primaria de activos en los juegos eternos de los Estados, sino también la principal fuente de fortaleza en la política internacional. Si bien Spykman aceptaba la existencia de los conflictos históricos entre el poder marítimo y el *heartland*, negó que este fuese el tema principal:

Nunca ha habido realmente una simple oposición entre el poder terrestre y el marítimo. La alineación histórica siempre ha sido en términos de algunos miembros del *rimland* con Gran Bretaña contra algunos miembros del *rimland* con Rusia, o Gran Bretaña y Rusia juntos contra un poder dominante del *rimland* (Spykman, 1944, p. 43).

Todos los marcos geopolíticos buscan indicar los patrones recurrentes de conflictos en la política mundial. En el marco de Mackinder, solo hay un conflicto: el que existe entre el poder marítimo y el *heartland*. En el marco de Spykman, sin embargo, hay dos: entre el poder marítimo y el *heartland* con el *rimland* dividido entre ellos; y entre un poder del

rimland contra el poder marítimo y el *heartland*. Según Gerace (1991), el patrón que prevalece dependería de la distribución del poder al interior del *rimland*. Esta diferencia no solo distinguió el marco geopolítico de Spykman del de Mackinder, sino que también condujo a la divergencia entre Spykman y Mackinder sobre el carácter estratégico del *heartland*. Para Spykman, es el *rimland*, no el *heartland*, el que presenta el peligro de cercar a Estados Unidos, y solo fue posible con el surgimiento de poderes dominantes dentro del *rimland* como la Alemania nazi y el Japón imperial. Si bien los poderes del eje de *rimland* dejarían a Estados Unidos cercado, también rodearían a la Unión Soviética, porque el éxito alemán-japonés en la Segunda Guerra Mundial habría empujado a la Unión Soviética detrás del lago Baikal o incluso los Urales.

En el marco de Spykman, a veces el *rimland* se divide entre los poderes del mar y el *heartland*, y a veces ambos están aliados contra el *rimland*. Este dualismo básico también cambia el carácter del poder del *heartland*. Para Mackinder, Rusia como potencia central fue designada como la adversaria natural de las potencias marítimas¹⁸. Por su parte, para Spykman el dualismo del *rimland* significaba que el carácter de Rusia como el poder del *heartland* también era dualista. Según Spykman (1944), como sucesor directo de los pueblos nómadas del *heartland*, la posición central de Rusia le permitió aplicar una enorme presión sobre esas naciones periféricas por la amenaza real o potencial de expansión territorial. Sin embargo, mientras Rusia no tuviera la intención de establecer alguna forma de hegemonía sobre esas naciones periféricas, entonces también era la base más efectiva para preservar la paz en el continente euroasiático. En definitiva, la principal contribución de Spykman fue que enfatizó en que las alineaciones históricas de los siglos XIX y XX no habían sido de la forma en que Mackinder los había imaginado. Cada una de las grandes luchas de los siglos XIX y XX, contra la Francia napoleónica, y luego contra la Alemania imperial y nazi, vio al poder marítimo británico (más el estadounidense en el siglo XX), aliados con el poder ruso contra un poder hegemónico en el *rimland*.

2.1.3 Teoría del poder aéreo de Douhet, Mitchell, De Seversky y Warden.

H.G. Wells fue uno de los primeros en reconocer la próxima revolución en la doctrina y tácticas militares con la llegada del motor de combustión y el automóvil, y fue capaz de influir fuertemente en la estrategia británica antes de la Primera Guerra

¹⁸ El punto de vista de Mackinder sobre Rusia como poder continental del *heartland* había cambiado significativamente en la última etapa de su carrera. En su versión de 1943 de la teoría del *heartland*, Mackinder había señalado la posibilidad de que la cooperación de la posguerra entre las potencias marítimas y el poder del *heartland* (la Unión Soviética) podría llegar a constituirse como un baluarte efectivo contra el renacimiento del militarismo alemán.

Mundial. Wells (1902) se convirtió en el primer defensor del cambio geoestratégico del siglo XX debido a la llegada de una nueva tecnología. Muchos otros lo siguieron, la mayoría atraídos por la tecnología aérea. El primero de ellos fue Giulio Douhet, un mariscal del aire italiano que escribió extensamente sobre la revolución del poder aéreo en la guerra moderna; aunque su visión era de largo alcance, ni siquiera él reconoció el impacto total de esta nueva dimensión en el campo de batalla.

Douhet (1942) sintió a principios del siglo XX que las teorías de Mackinder habían quedado rápidamente obsoletas, ya que no tuvieron en cuenta la creciente influencia del poder aéreo. A pesar de que las características de la superficie de la Tierra (un cambio crítico en la evolución hacia la astropolítica), no obstaculizaban las aeronaves, sí las limitaban en su accionar por críticas rutas de operaciones aéreas,¹⁹ que requerían campos de despegue y aterrizaje ubicados con precisión, así como instalaciones efectivas de mantenimiento y reparación en los principales centros aéreos. Douhet (1942) insistió en que los mapas de guerra deberían retratar estas rutas junto con superposiciones de círculos concéntricos, o arcos de alcance, identificando los rangos operacionales de los aviones desplegados en las bases terrestres. La teoría del poder aéreo de Douhet (1942) era, por decir lo menos, extraña, ya que se centró en misiones ofensivas independientes, algo que los principales pilotos de la Primera Guerra Mundial nunca pudieron entender. Pero comprendía claramente el significado de la tecnología en la guerra y reconoció la revolución que representaría la introducción del avión en el teatro de operaciones²⁰.

Douhet escribió la mayoría de sus textos después de que cesaron las hostilidades de la Primera Guerra Mundial, pero los teóricos del poder aéreo estudiaron sus obras durante el periodo de entreguerras, influenciando fuertemente las doctrinas de las primeras fuerzas aéreas del mundo al comienzo de la Segunda Guerra Mundial; Sir Hugh Trenchard (Jefe de Estado Mayor de la Real Fuerza Aérea Británica) y el General Billy Mitchell (General del Cuerpo Aéreo del Ejército de los Estados Unidos), compartían la optimista creencia de Douhet (1942) de que la fuerza aérea podría volver obsoleta la sangrienta guerra de trincheras de la Primera Guerra Mundial (Álvarez, et al., 2017a). También consideraban que la fuerza aérea debería ser un servicio independiente y que el bombardeo estratégico era una capacidad esencial del poder aéreo. Douhet (1942) igualmente argumentó que los ataques ofensivos deberían di-

¹⁹. Douhet identificó tres de estas rutas aéreas para Italia: una a lo largo del valle del Po y dos más a lo largo de las costas este y oeste de la península italiana.

²⁰. Directamente relacionada con el avión había otra nueva tecnología: gas venenoso. Douhet (1942) entendió cómo estas dos tecnologías, municiones y vehículos de entrega, podrían revolucionar la guerra; y aunque las fuerzas aéreas eran reacias a usar gas venenoso después de la Primera Guerra Mundial, sus teorías se transfirieron bien al uso de un tipo de artillería aún más devastador durante la Segunda Guerra Mundial.

rigirse en última instancia a los centros de población civil, ya que suponía que todas las guerras futuras serían guerras totales: "(...) todos sus ciudadanos se convertirán en combatientes, ya que todos estarán expuestos a las ofensivas aéreas del enemigo. Ya no habrá distinción entre soldados y civiles" (pp.6-7). La escala y la gravedad de la Primera Guerra Mundial tuvieron un profundo impacto en Douhet y la población europea en general, por lo que estaban a favor de cualquier acción que prometiera acortar el próximo conflicto.

El as ruso de la Primera Guerra Mundial, Alexander De Seversky, también fue un importante teórico del poder aéreo. De Seversky (1941) creía, como Mitchell, que el poder aéreo constituía la forma preeminente de guerra, y que éste debía constituirse en la columna vertebral de la defensa estratégica de Estados Unidos²¹. Mitchell (1925) también aceptó la opinión de Douhet de que las bases aéreas representaban centros vitales de operaciones militares, y creía que su papel era extender la teoría a la práctica. Mitchell profesó que, en la nueva era aérea, Alaska había superado a Panamá como un enfoque estratégico para Estados Unidos, ya que los aviones con base en esta región podrían maximizar su radio de acción contra enemigos potenciales. Al igual que Douhet, De Seversky consideraba que la tercera dimensión del campo de batalla permitía a una fuerza aérea amiga sobrevolar las fuerzas convencionales del enemigo y atacar su infraestructura clave desde el principio. Una diferencia entre las teorías de Douhet y De Seversky fue que mientras Douhet subrayaba continuamente la importancia del comando del aire para permitir las operaciones aéreas, De Seversky (1942) enfatizaba el valor de la superioridad aérea para las operaciones terrestres. Durante los años de entreguerras, el valor del poder aéreo como capacidad estratégica recibió gran atención, pero De Seversky reconoció su uso como habilitador táctico de las fuerzas terrestres y marítimas. La integración alemana de componentes aéreos y terrestres durante la invasión de Polonia en 1939 fue un claro ejemplo de integración efectiva; sin embargo, ayudó que Polonia tuviera una débil fuerza aérea y prácticamente ninguna defensa aérea, por lo que las fuerzas militares nazis pudieron operar con impunidad. Con el mismo ejército apoyado por la misma *Luftwaffe*, Alemania logró, hasta cierto punto, el mismo éxito en su avance hacia el oeste en 1940.

De Seversky (1942), como Douhet (1942), visualizó el epítome del poder aéreo en la forma de un bombardero de largo alcance capaz de defenderse. Reconociendo las limitaciones aerodinámicas y de ingeniería de la época, describió las características

21. En 1917, fue enviado a Estados Unidos como enlace con la misión naval rusa y, cuando el gobierno bolchevique llegó al poder en Rusia poco después, eligió permanecer en Estados Unidos. En 1927, recibió una comisión como comandante en las reservas del Cuerpo Aéreo de los Estados Unidos. Cuatro años más tarde, fundó la Seversky Aircraft Corporation, donde diseñó y produjo varios aviones a lo largo de la década de 1930, entre ellos el primer bombardero totalmente automático.

de dicho avión: superficies de control dinámico capaces de compensar el daño de batalla, combustibles de seguridad capaces de resistir proyectiles incendiarios, armas defensivas controladas a distancia y motores sin hélice. Por otra parte, las capacidades ofensivas de la aviación siempre han sido populares entre los teóricos del poder aéreo, pero Seversky fue uno de los primeros en abordar en detalle la amenaza recíproca de ataque aéreo por parte de un enemigo.

Por todas las razones por las que Estados Unidos debía atacar los centros industriales de Alemania y Japón en la Segunda Guerra Mundial, De Seversky (1942) argumentó que las potencias del eje también estaban en la capacidad de acometer un ataque aéreo contra el territorio continental de Estados Unidos. Su solución fue la superposición de rangos de operación concéntricos para diferentes tipos de aviones interceptores y de persecución. Nuevamente, antes de su tiempo, sus teorías serían ampliamente aceptadas e implementadas en la doctrina a medida que la tecnología avanzaba. Fue el primer geoestratégico en usar un mapa equidistante azimutal (una vista polar que limitaba las distorsiones de las proyecciones tradicionales de Mercator), para mostrar cuán físicamente cerca estaba la masa continental euroasiática de América del Norte (figura 1). Al dibujar arcos de alcance aéreo sobre Estados Unidos y la Unión Soviética, identificó regiones no disputadas como áreas de reserva estratégica y regiones de superposición como áreas de decisión. La influencia de De Seversky (1951) fue ampliamente persuasiva, y se convirtió en la base política para la construcción en el norte de Canadá y Alaska de la línea de radar DEW (Advertencia de Defensa Temprana), para monitorear las fuerzas estratégicas de la ex Unión Soviética. En definitiva, el aporte de De Seversky (1942; 1951) moldeó la doctrina del poder aéreo y la dirección de la tecnología aeroespacial en los años venideros.

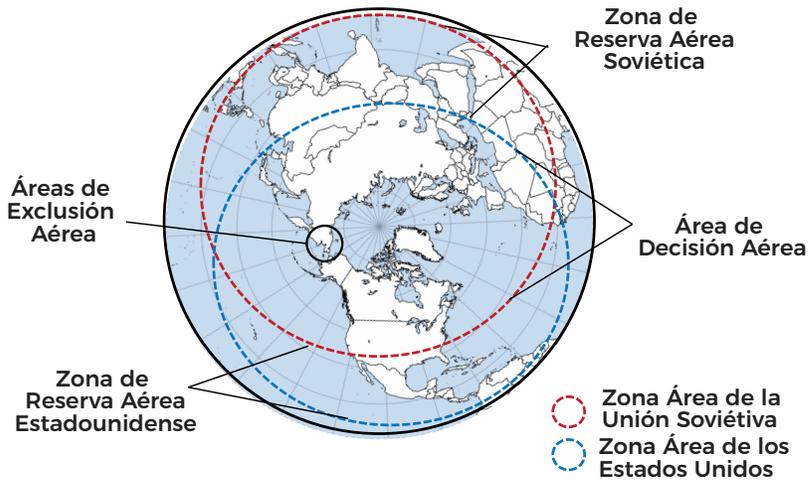


Figura 1. Zonas aéreas de la Guerra Fría
Fuente: elaboración propia con base en De Seversky (1951)

El coronel John Warden desarrolló sus teorías del poder aéreo a lo largo de su carrera de 30 años en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Concibió, empleó y refinó sus teorías en las décadas de 1980 y 1990, a medida que la fuerza aérea de su país se adaptaba al final de la Guerra Fría y buscaba poner en práctica los avances en tecnología sigilosa y las municiones guiadas con precisión. Las teorías de Warden (1998) sobre la guerra son muy apreciadas por los profesionales del poder aéreo en la actualidad y proporcionan una base doctrinal probada para campañas aéreas contra adversarios convencionales en guerras limitadas. En 1986, con el apoyo del *War College*, Warden (1998) publicó el primer libro para abordar la guerra aérea a nivel operativo desde la Segunda Guerra Mundial; enfatizó en la importancia de la superioridad aérea e ilustró algunos de los principios clásicos de la guerra a través de ejemplos históricos y escenarios hipotéticos.

Sin embargo, los avances en la tecnología sigilosa y las municiones guiadas con precisión, marcarían un diferenciador de sus teorías con respecto a las desarrolladas en la primera mitad del siglo XX. Warden presagiaba la capacidad de estas nuevas tecnologías para revolucionar la guerra aérea, si se empleaban de manera efectiva. Cuando Iraq invadió Kuwait en 1990, Warden era un planificador senior en el Pentágono y aprovechó los principios de su libro para diseñar una campaña aérea decisiva que obligó a la retirada del ejército iraquí de Kuwait; el plan de campaña de Warden

(1998), acuñado como *Operation Instant Thunder*, se basó en un uso masivo y ofensivo del poder aéreo para paralizar al régimen iraquí y su liderazgo. Warden creía que el poder aéreo tenía el potencial por sí solo de ser decisivo en la batalla, por lo que en lugar de apoyar a las fuerzas terrestres (como se suponía en la doctrina convencional), la operación *Instant Thunder* abogó por una campaña aérea a corto plazo que pudiera ejecutarse independientemente de las fuerzas terrestres y que fuera de naturaleza estratégica.

Se basó en lo que Warden (1995) denominó el "Modelo de los Cinco Anillos", y se centró en los ataques basados en efectos, dirigidos a centros de gravedad estratégicos y no a las fuerzas enemigas desplegadas. La teoría de los cinco anillos de Warden (1995) se basa en los principios de la campaña aérea, comparando al enemigo con un cuerpo humano para demostrar la naturaleza interconectada de los distintos centros de gravedad del adversario. Ilustró este concepto con una imagen compuesta de cinco anillos concéntricos, en la que cada anillo representaba un componente esencial dentro del sistema general, muy parecido a un órgano en un cuerpo. El anillo central denotaba el liderazgo del enemigo, y los anillos posteriores comprendían elementos esenciales como infraestructura, población y capacidades militares desplegadas. Bajo la propuesta de Warden (1995), todos los anillos representan sistemas interconectados que, atacados simultáneamente, debilitarían a un adversario. Al interpretarse como un mapa, el modelo de cinco anillos ayudaría a iluminar un beneficio único del poder aéreo: el ejército desplegado no necesitaba ser destruido para asegurar la victoria.

Históricamente, los ejércitos atacaron a las fuerzas enemigas al comienzo del conflicto porque protegían el territorio, la infraestructura, los recursos y el liderazgo de un Estado; pero Warden (1998) consideraba que los ataques precisos y coordinados en los centros de gravedad en todos los anillos crearían más caos y destrucción que un choque de fuerzas con base en tierra que se movía desde el anillo exterior hacia adentro. Desafortunadamente, la utilidad de la teoría de Warden (1998) se rompe cuando se aplica a actores no estatales y a la guerra asimétrica en un conflicto de quinta generación, donde los enemigos no dependen de modelos de liderazgo lineal en el mismo grado que un ejército nacional.

3. Análisis astro-histórico del Universo

Dolman (1999) sugiere que los conceptos clásicos de geopolítica son notablemente transferibles al terreno del espacio exterior, debido a que éste también contaría con una astrografía definible. Con la comprensión de la teoría marítima descrita por

Mahan (1890) y Corbett (1911), las teorías continentales presentadas por Mackinder (1962) y Spykman (1944), así como las teorías aéreas expuestas por Douhet (1942), Mitchell (1925), De Seversky (1951) y Warden (1998), es posible extrapolar y definir una teoría astropolítica para la astroestrategia. No obstante, es importante aclarar que las operaciones marítimas, terrestres y/o aéreas no podrían equipararse a las operaciones espaciales, ya que los factores ambientales, tecnológicos y físicos son definitivamente diferentes. Empero, muchos de sus aspectos estratégicos son similares y, por tanto, se presume que comparten ciertos principios teóricos.

Pero para dar paso a ese análisis, es necesario estudiar primero los parámetros físicos y ambientales del espacio exterior, ya que su comprensión es imprescindible para una evaluación honesta de cualquier región astropolítica. Por tanto, a diferencia de los tres espacios físicos encontrados en la Tierra, el entorno extraterrestre es considerablemente desafiante y hostil a la presencia del ser humano, por lo que a continuación se tratan temas de la astrofísica y la astromecánica, cruciales para la comprensión de las limitaciones y promesas de la actividad humana en ese dominio.

3.1 Teoría del *Big Bang*

La teoría ampliamente aceptada para el origen y la evolución del Universo es la teoría del *Big Bang*, que establece que éste nació como un punto único muy caliente y denso en el espacio, hace aproximadamente 13.700 millones de años (Kragh, 2007). Cabe señalar que el *Big Bang* no fue una explosión en el espacio, como podría sugerir el nombre de la teoría; en cambio, fue la aparición del espacio en todas partes del Universo. cuando el Universo era muy joven, algo así como una centésima de billonésima parte de una billonésima parte de una billonésima de segundo, experimentó un crecimiento increíble (Potter, 2009). Durante este estallido de expansión, que se conoce como "inflación", el Universo creció exponencialmente y se duplicó en tamaño más de 90 veces. Los elementos químicos ligeros se crearon dentro de los primeros tres minutos de la formación del Universo (Perryman, 2010); después de la inflación y a medida que el Universo se expandió, las temperaturas se enfriaron y los protones y neutrones colisionaron para formar deuterio, que es un isótopo de hidrógeno; y, gran parte de este deuterio se combinó para formar helio.

Sin embargo, durante los primeros 380.000 años después del *Big Bang*, el intenso calor de la creación del Universo lo hizo esencialmente demasiado caliente para que brillara la luz; los átomos se estrellaron con la fuerza suficiente para romperse en un plasma denso y opaco de protones, neutrones y electrones que dispersaron la luz. Entonces, 380.000 años después del *Big Bang*, la materia se enfrió lo suficiente como

para que los electrones se combinaran con los núcleos para formar átomos neutros, en una fase conocida como "recombinación"; para aquel momento, la absorción de electrones libres causó que el Universo se volviera transparente (Fox, 2002). La luz que se desencadenó en este momento es detectable hoy en forma de radiación del fondo cósmico de microondas; sin embargo, la era de la recombinación fue seguida por un periodo de oscuridad antes de que se formaran las estrellas y otros objetos brillantes.

Aproximadamente 400 millones de años después del *Big Bang*, el Universo comenzó a salir de su edad oscura; este periodo en su evolución se llama la era de la "reionización", que en un principio se creyó había durado más de medio billón de años, pero según las nuevas observaciones, puede haber ocurrido más rápidamente de lo que se pensaba anteriormente (Potter, 2009). Durante este tiempo, grupos de gas colapsaron lo suficiente como para formar las primeras estrellas y galaxias, y la luz ultravioleta emitida por estos eventos energéticos se despejó y destruyó la mayor parte del gas de hidrógeno neutro circundante. El proceso de reionización, más la eliminación de niebla de gas de hidrógeno, hicieron que el Universo pasara por primera vez de la transparencia a la luz ultravioleta. Su forma actual se ha determinado a partir de mediciones de la radiación de fondo de microondas utilizando satélites como la sonda WMAP de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA). Estas observaciones indicarían que la geometría espacial del Universo observable es "plana", lo que significa que los fotones en trayectos paralelos en un punto permanecen paralelos mientras viajan a través del espacio hasta el límite del Universo observable, a excepción de la gravedad local; por tanto, el Universo plano combinado con la densidad de masa medida y la expansión acelerada, indicaría que el espacio tiene una energía de vacío distinta de cero, la cual se denomina "energía oscura".

En efecto, en las décadas de 1960 y 1970, los astrónomos comenzaron a pensar que podría haber más masa en el Universo de lo que es visible (Kragh, 2007). Vera Rubin, astrónoma de la Carnegie Institution de Washington, observó la velocidad de las estrellas en varios lugares de las galaxias; la física newtoniana básica establece que las estrellas en las afueras de una galaxia orbitarían más lentamente que las estrellas en el centro, pero Rubin no encontró diferencia en las velocidades de las estrellas más alejadas. De hecho, descubrió que todas las estrellas en una galaxia parecían rodear el centro a más o menos la misma velocidad; y esta masa misteriosa e invisible se hizo conocida como "materia oscura"²². Se cree que la materia oscura constituiría el 23% del Universo; en comparación, solo el 4% estaría compuesto de materia regular, que abarca estrellas, planetas y personas (Fox, 2002).

²² La materia oscura se infiere debido a la atracción gravitacional que ejerce sobre la materia regular. Una hipótesis establece que las cosas misteriosas podrían estar formadas por partículas exóticas que no interactúan con la luz o la materia regular, por lo que han sido tan difíciles de detectar.

En la década de 1920, el astrónomo Edwin Hubble hizo un descubrimiento revolucionario sobre el Universo, al observar que no es estático, sino que se está expandiendo. Décadas más tarde, en 1998, el telescopio espacial que lleva su nombre (telescopio espacial Hubble), estudió supernovas muy distantes y descubrió que, hace mucho tiempo, el Universo se estaba expandiendo más lentamente a como lo haría en la actualidad. Este descubrimiento fue sorprendente porque durante mucho tiempo se pensó que la gravedad de la materia en el Universo ralentizaría su expansión, o incluso haría que se contrajera.

En este sentido, se cree que la energía oscura²³ sería la fuerza extraña que está separando el cosmos a velocidades cada vez mayores, aunque permanece sin ser detectada y envuelta en misterio (figura 2); la existencia de esta energía evasiva, que se cree que constituye el 73% del Universo, es uno de los temas más debatidos en cosmología.

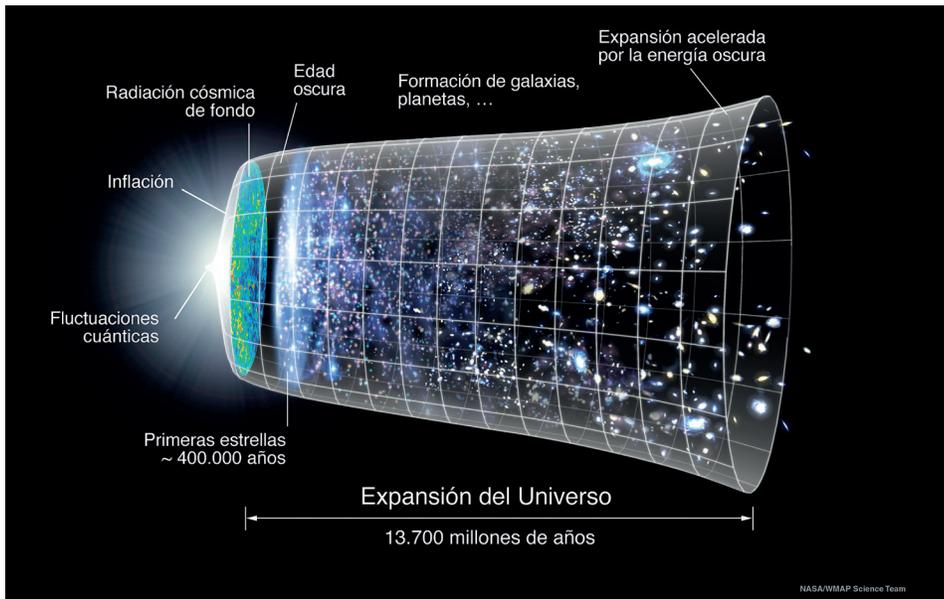


Figura 2. Evolución del Universo
Fuente: NASA/WMAP Science Team

De acuerdo con Perryman (2010), la densidad del Universo no es uniforme, y se pueden encontrar zonas de alta densidad en galaxias, planetas y agujeros negros, en contraste con una baja densidad en zonas con grandes vacíos.

El cielo nocturno está poblado por estrellas y galaxias, y varios miles de ellas son perceptibles a simple vista, e innumerables millones más son reveladas por los tele-

23. La materia oscura produce una fuerza atractiva (gravedad), mientras que la energía oscura produce una fuerza repulsiva (antigravedad).

scopios. Desde la década de 1990, y el lanzamiento del telescopio espacial Hubble, el acceso al espacio ha dado una panorámica más aguda del Universo (figura 3).

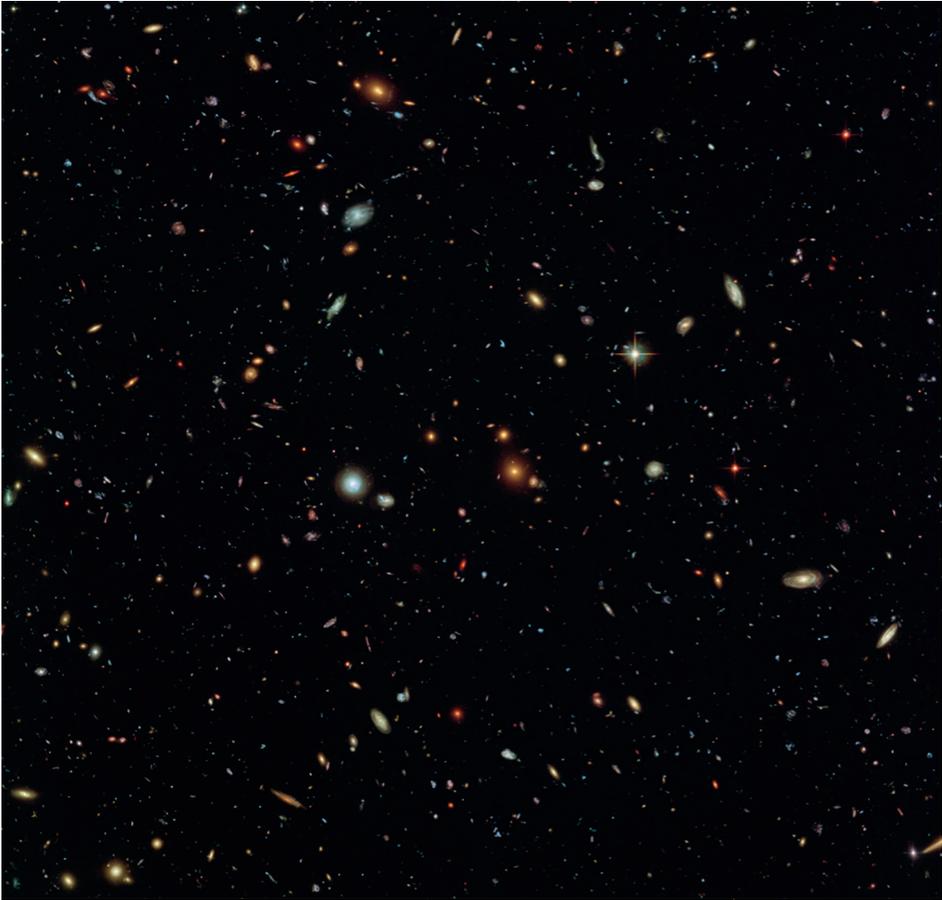


Figura 3. Miles de Millones de Galaxias
Fuente: NASA/ESA/HST Frontier Fields Team/STScI

El Universo es infinito en extensión y debido a que las distancias involucradas son tan vastas, el normal cálculo humano (kilómetros o millas), pierde significado. Por ende, un criterio conveniente que se utiliza para analizar las distancias estelares es el de "año luz", es decir, la distancia que la luz puede recorrer en un año; entonces, a 300.000 kilómetros por segundo, equivaldría aproximadamente a 9.46×1.012 kilómetros (9.460.730.472.580.8 kilómetros). Partiendo de lo anterior, hay miles de millones de galaxias²⁴ en el Universo, entre las cuales se encuentra la de la Vía Láctea

24. Una galaxia es un conjunto de billones de estrellas, nubes de gas, planetas, polvo cósmico, materia oscura y energía unidos

(figura 4), que tiene forma de espiral y unos 100.000 años luz de diámetro²⁵; la Vía Láctea gira lentamente alrededor del centro galáctico, completando una revolución aproximadamente cada 240 millones de años, por cual los astrónomos piensan que el Sistema Solar tiene unos 20 años cósmicos²⁶ (4.800 millones de años terrestres). Las estrellas en la Vía Láctea están muy dispersas, hasta el punto de que la estrella más cercana al Sistema Solar de la Tierra es *Proxima Centauri*, a 4.22 años luz; en este sentido, a la nave espacial Voyager (que actualmente se mueve a 56.400 kilómetros por hora), le tomaría más de 80.000 años en llegar esa estrella (Sellers. Astore, Giffen y Larson, 2004).

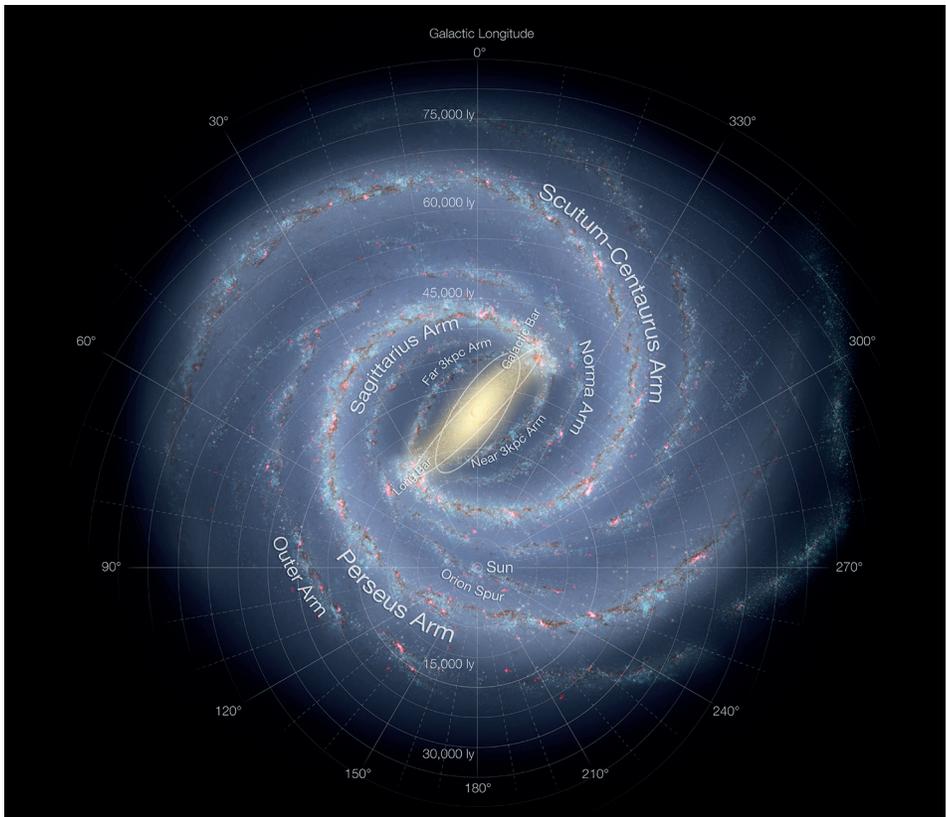


Figura 4. Galaxia de la Vía Láctea
Fuente: <http://www.eso.org/public/images/eso1339e/>

por la gravedad en una estructura más o menos definida.

25. La galaxia más cercana a la Vía Láctea es Andrómeda, a unos 2 millones de años luz de distancia.

26. El tiempo que lleva girar una vez alrededor del centro de la galaxia se llama año cósmico.

3.2 El Sistema Solar

Se estima que el Sistema Solar del planeta Tierra nació un poco después de 9 mil millones de años luego del *Big Bang*, por lo que tiene aproximadamente 4.6 mil millones de años (Woolfson, 2000). Según las estimaciones actuales, el Sol es una de las más de 300 mil millones de estrellas de la Vía Láctea, y orbita aproximadamente a 25.000 años luz del núcleo galáctico, en uno de los brazos espirales de la galaxia. Muchos científicos piensan que el Sol y el resto del Sistema Solar se formaron a partir de una nube gigante y giratoria de gas y polvo conocida como la nebulosa solar; cuando la gravedad hizo que la nebulosa colapsara, giró más rápidamente y se aplastó en un disco, arrastrando la mayor parte del material hacia el centro para formar el Sol. En este orden de ideas, el Sol es el objeto celeste que mayor efecto tiene en el entorno espacial más cercano a la Tierra. Alimentado por fusión nuclear, el Sol combina o fusiona 600 millones de toneladas de hidrógeno cada segundo²⁷ (durante la fusión, el interior del Sol genera más de 1.000.000°C de calor), y al poseer un intenso campo magnético, dispara electrones y protones a velocidades de 300 a 700 kilómetros por segundo, creando una corriente de partículas cargadas conocidas como “viento solar” (Sellers, et al., 2004). Además, ciertas áreas de la superficie solar ocasionalmente estallan en erupciones solares²⁸ de partículas cargadas que hacen que todas las bombas nucleares en la Tierra se vean tan sólo como simples armas de fuego (figura 5).

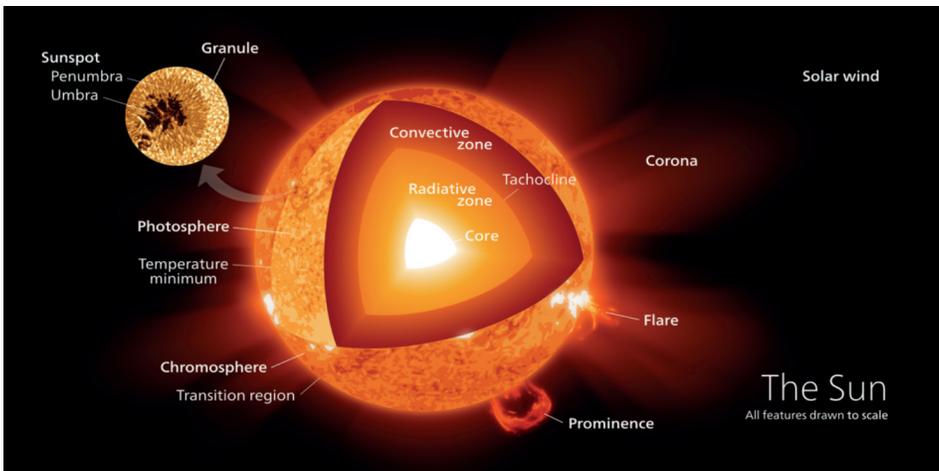


Figura 5. El Sol

Fuente: Kelvinsong <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

27. A ese ritmo, no se quedará sin hidrógeno durante aproximadamente 5 mil millones de años.

28. Estas erupciones son a veces tan violentas que se extienden a 150 millones de kilómetros hasta la órbita terrestre.

La comprensión moderna de la humanidad con respecto a la visión heliocéntrica del Sistema Solar comenzaría a tomar forma con Nicolás Copérnico (1473-1543), un humanista renacentista y clérigo católico que promovió esta visión en 1543. En efecto, ubicó al Sol en el centro del Sistema Solar y estableció que la Tierra giraba sobre su eje una vez al día, mientras alrededor del Sol una vez al año²⁹. Copérnico explicó que un Universo heliocéntrico era más simétrico y coincidía mejor que el modelo geocéntrico de Aristóteles³⁰ y Ptolomeo. Además, observó que, con respecto a un espectador ubicado en la Tierra, los planetas ocasionalmente parecían retroceder en sus órbitas mientras se movían contra el fondo de las estrellas fijas (Hoyle, 1962). Si bien Ptolomeo había recurrido a combinaciones complejas de círculos para explicar el movimiento retrógrado³¹, Copérnico explicaría hábilmente que este movimiento era simplemente el efecto del adelantamiento de la Tierra y de otros planetas a medida que todos giraban alrededor del Sol³².

Sin embargo, el sistema heliocéntrico de Copérnico tenía algunos inconvenientes; por ejemplo, Copérnico no pudo probar que la Tierra se movía y no pudo explicar por qué giraba sobre su eje mientras giraba alrededor del Sol³³. Además, Copérnico luchó con el problema del "paralaje", el aparente cambio en la posición de los cuerpos cuando se ve desde diferentes lugares (Hoyle, 1962). Según sus críticos, si la Tierra realmente giraba sobre el Sol, un espectador estacionado en la Tierra debería ver un

29. Copérnico no fue el primer científico en colocar el Sol en el centro del Sistema Solar. En el siglo V a.C., Filoioa, un pitagórico, sugirió que la Tierra giraba sobre su eje una vez al día, mientras giraba alrededor de un fuego central (no el Sol). Según Filoioa, un espectador en la Tierra no podría ver este fuego central porque una "contra-Tierra" bloquearía su vista, protegiendo a la Tierra de la exposición directa al calor. Hacia el 350 a.C. aproximadamente, otro astrónomo griego llamado Aristarco, demostró que el Sol era enormemente más grande que la Tierra. Por tanto, creía que el Sol (y no la Tierra), ocupaban el centro del Universo conocido. Más radicalmente, supuso correctamente que la Tierra giraba diariamente sobre su eje, mientras giraba anualmente alrededor del Sol.

30. Al mirar al cielo, los filósofos griegos como Aristóteles, vieron la perfección. Como el círculo era perfectamente simétrico, los griegos suponían que los caminos de los planetas y las estrellas debían ser circulares. Además, debido a que los dioses debían considerar que la Tierra era de importancia central en el Universo, ésta debía ocupar el centro de la creación, con todo lo demás girando a su alrededor. En este Universo geostático (la Tierra no se mueve), y geocéntrico (centrado en la Tierra), Aristóteles creía que esferas cristalinas sólidas, compuestas de éter, transportaban los cinco planetas conocidos, así como la Luna y el Sol, en caminos circulares alrededor de la Tierra.

31. La astronomía en el mundo antiguo alcanzó su pico de refinamiento en aproximadamente 140 d.C. con Ptolomeo. Siguiendo la tradición griega, Ptolomeo calculó las órbitas del Sol, la Luna y los planetas utilizando combinaciones complejas de círculos. Estas combinaciones, conocidas como excéntricas, epiciclos y equivalentes, no estaban destinadas a representar la realidad física, sino que simplemente eran dispositivos para calcular y predecir el movimiento.

32. Eventualmente, el modelo geocéntrico de Aristoteles y Ptolomeo del Universo dominaría la astronomía durante 2.000 años. No obstante, la astronomía avanzaría durante la Edad Media, destacándose las contribuciones de los árabes, quienes perfeccionaron el astrolabio, un instrumento de observación utilizado para trazar el curso de las estrellas y ayudar a los viajeros en la navegación. Sus observaciones, recogidas en las tablas toledanas, formaron la base de las Tablas Alfonsinas utilizadas para los cálculos astronómicos en Occidente, desde el siglo XIII hasta mediados del siglo XVI. Además, los números arábigos, combinados con el concepto hindú del "cero", reemplazaron los números romanos, y junto con los avances árabes en trigonometría, este nuevo sistema de numeración mejoró enormemente la astronomía computacional.

33. También se adhirió a la tradición griega de que las órbitas siguen círculos uniformes, por lo que su geometría era casi tan compleja y físicamente errónea como la de Ptolomeo.

cambio aparente en la posición de una estrella más cercana con respecto a sus vecinos más distantes. Y como nadie vio este cambio, el sistema centrado en el Sol de Copérnico se presentaba sospechoso. En respuesta, Copérnico especuló que las estrellas debían estar a grandes distancias de la Tierra, pero esas distancias eran demasiado vastas como para que la mayoría de las personas las contemplaran en ese momento, por lo que esta idea también fue ampliamente rechazada.

Debido a estos problemas físicos y religiosos, solo unos pocos estudiosos se atrevieron a adoptar el copernicanismo, ya que, si la Tierra fuera solo otro planeta y los cielos fueran mucho más vastos de lo que se creía anteriormente, entonces tal vez un número infinito de planetas habitados orbitaban un número infinito de soles, y tal vez los cielos mismos fueran infinitos (Kragh, 2007). Giordano Bruno (1548-1600) promovió estos puntos de vista, pero debido a sus opiniones religiosas poco ortodoxas, fue quemado en la hoguera en 1600³⁴; pero eventualmente, otros intrépidos exploradores compartirían su visión, como fue el caso de Tycho Brahe (1546-1601), quien a partir de sus observaciones de la supernova de 1572 y el cometa de 1577, calculó que la nova estaba mucho más allá de la esfera de la Luna y que la órbita del cometa se cruzaba con la de los planetas. Por ello, concluyó que el cambio ocurre en el reino supra-lunar y que las esferas cristalinas sólidas no existían en el espacio. En cierto sentido, destrozó la teoría de las esferas sólidas de Aristóteles, concluyendo que el espacio era imperfecto y vacío, excepto el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas. Aunque los hallazgos de Brahe fueron revolucionarios, no pudo abrazar el modelo copernicano del Sistema Solar; por el contrario, mantuvo la Tierra en un modelo geoheliocéntrico complejo del Universo³⁵.

Brahe no aprovechó al máximo sus nuevas observaciones más precisas, debido en parte a que no era un experto matemático. Pero Johannes Kepler (1571-1630) sí era un gran matemático y comenzaría a trabajar con Brahe en 1600. Si bien la colaboración entre los dos sería de corta duración (ya que Brahe murió en 1601), Brahe desafió a Kepler a calcular la órbita de Marte. La elección de Marte por parte Brahe fue afortunada, ya que, de los seis planetas conocidos hasta entonces, Marte tenía la segunda órbita más excéntrica³⁶ (después de Mercurio). Cuando Kepler comenzó a estudiar detenidamente las observaciones de Brahe sobre Marte, encontró una discrepancia inquietante (Hoyle, 1962): la órbita de Marte no era circular, ya que calculó una di-

34. Irónicamente, la visión de Bruno de un número infinito de mundos habitados que ocupan un Universo infinito, derivaba de su creencia de que un Dios omnipotente no podría crear nada menos.

35. En este modelo, la Luna y el Sol giraban sobre la Tierra, y todo lo demás giraba sobre el Sol. Muchos eruditos que no podían aceptar el copernicanismo, como los jesuitas, adoptaron el sistema de Brahe.

36. Excéntrica significa "descentrado", y la excentricidad describe la desviación de una forma de un círculo perfecto. Un círculo tiene una excentricidad de cero, y una elipse tiene una excentricidad entre cero y uno.

ferencia constante de ocho minutos de arco³⁷, entre lo que esperaba para una órbita circular y las observaciones de Brahe.

Como resultado, Kepler llegó a la idea de que los planetas se movían alrededor del Sol en órbitas elípticas, con el Sol no en el centro, sino en un foco. Confiado en sus propias habilidades matemáticas y en los datos de Brahe, Kepler codificó las órbitas planetarias en las famosas leyes del movimiento orbital, las cuales estipulan que (Bate, Mueller y White, 1971): 1) los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol en un foco; 2) la línea que une un planeta al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales y 3) el cuadrado del periodo orbital es proporcional al cubo de la distancia promedio del Sol (eje semi-mayor). Por último, Kepler también usaría su imaginación para explorar el espacio, "viajando" a la constelación de Orión en un intento de demostrar que el Universo era finito³⁸. En 1608 escribió un relato ficticio de un viaje a la Luna que se publicó póstumamente en 1634; en el *Somnium*³⁹, Kepler viaja mentalmente a la Luna con la ayuda de la magia, donde descubre que es un lugar inhóspito habitado por criaturas especialmente adaptadas.

Hasta la época de Kepler, los esfuerzos de la humanidad por explorar el Sistema Solar habían estado limitados a la vista humana. Pero en 1609, Galileo Galilei (1564-1642) se enteró de un nuevo dispositivo óptico que podía ampliar los objetos para que parecieran estar más cerca y más brillantes de lo que se veían a simple vista; al construir un telescopio que podría ampliar una imagen 20 veces, Galileo daría comienzo a una nueva era de exploración espacial (MacLachlan, 1997). Gracias a este nuevo instrumento óptico, hizo sorprendentes observaciones de la Luna, los planetas y las estrellas; por ejemplo, al observar la Luna, Galileo notó que se parecía notablemente a la superficie de la Tierra, con montañas, valles, canales y mares; y mirando al Sol, descubrió manchas solares.

Estas observaciones refutaron la afirmación de Aristóteles de que la Luna y el Sol eran perfectos y completamente diferentes de la Tierra. Así mismo, al observar los planetas, Galileo notó que Júpiter tenía cuatro lunas o satélites⁴⁰ que giraban a su alrededor; estas lunas jovianas refutaron la afirmación de Aristóteles de que todo giraba en torno a la Tierra. Mientras tanto, el hecho de que Venus exhibiera fases como la Luna implicaba que orbitaba el Sol, y no la Tierra. Al observar las estrellas, Galileo

37. Si se dibujara un círculo y se dividiera en 360 partes iguales, el ángulo descrito sería un grado; si luego se divide cada grado en 60 partes iguales, se obtendrá un minuto de arco.

38. La armonía y la proporción eran todo para Kepler, y un Universo infinito parecía carecer de ambas.

39. El *Somnium* de Kepler eventualmente inspiraría a otros autores a explorar el espacio a través de la ficción imaginativa, incluidos Jules Verne y H.G.Wells.

40. Una palabra que Kepler acuñó en 1611.

también resolvió el misterio de la “leche” de la Vía Láctea, explicando que ésta se debía al resplandor de innumerables estrellas débiles que el desnudo ojo humano por si solo no podía resolver; notó además que su telescopio no magnificaba las estrellas, lo que parecía confirmar la suposición de Copérnico sobre la vasta distancia que existía entre las estrellas y la Tierra (MacLachlan, 1997).

Para completar la revolución astronómica de Copérnico, Brahe, Kepler y Galileo, Isaac Newton (1642-1727) inventaría el cálculo y desarrollaría su ley de gravitación en 1665. Adicionalmente, al extender el innovador trabajo de dinámica de Galileo, Newton publicó sus tres leyes del movimiento y la ley de la gravitación universal en 1687. Con estas leyes se podía explicar y predecir el movimiento, no solo en la Tierra, sino también de las mareas, cometas, lunas y planetas; en otras palabras, del movimiento en todas partes. El aporte científico de Newton ayudó a inspirar la Ilustración del siglo XVIII, una época en la que los filósofos creían que el Universo era completamente racional y comprensible (Christianson, 2005).

Motivado por esta creencia “ilustrada”, William Herschel (1738-1822) descubriría accidentalmente a Urano en 1781; y mientras los astrónomos estudiaban este planeta, notaron que su órbita se “tambaleaba” ligeramente. Ello conduciría a John Couch Adams (1819-1892) y Urbain Leverrier (1811-1877) a usar este bamboleo, conocido como “perturbación orbital”, para calcular la ubicación de un nuevo planeta que, obediendo la Ley de Gravedad de Newton, causaría el bamboleo (Hoyle, 1962); por ende, observando las coordenadas especificadas, los astrónomos del observatorio de Berlín ubicarían eventualmente al planeta Neptuno en 1846.

Por ello, desde la época de Newton, se entendería mejor la estructura básica del Sistema Solar y las leyes que rigen los movimientos de los cuerpos celestes dentro del Universo (Woolfson, 2000). Es decir, con relación a la mecánica orbital del Sistema Solar, se entiende que el Sol, el cual contiene la mayor parte de la masa del sistema (99,75%)⁴¹, tiene una familia de planetas asistentes en órbitas más o menos circulares a su alrededor; a su vez, algunos de los planetas tienen satélites acompañantes o lunas. Por ende, además de la estrella del Sol, existen ocho planetas, docenas de lunas, miles de asteroides y un número indeterminado de cometas⁴² en el Sistema Solar (fi-

41. Albert Einstein (1879-1955) revolucionó la física con sus conceptos de relatividad, el continuo espacio-tiempo y su famosa ecuación $E=mc^2$, que mostró la equivalencia de masa y energía relacionadas por una constante: la velocidad de la luz. Combinado con el descubrimiento de la radiactividad en 1896 por Henri Becquerel (1852-1908), la ecuación de Einstein explica en términos generales el funcionamiento interno del Sol.

42. Hasta julio de 2018, había 6.339 cometas conocidos; empero, este número representaría solo una pequeña fracción de la población potencial total de cometas, ya que el reservorio de cuerpos similares a cometas en el exterior del Sistema Solar (en la nube de Oort), se estimaría en un trillón de cometas.

gura 6). Los planetas van desde los pequeños de clase terrestre como Mercurio, Venus, Tierra y Marte, hasta los gigantes gaseosos como Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno; Plutón, que se encuentra en el borde del Sistema Solar (y que podría haber sido una luna perdida de Neptuno), es considerado como un planeta enano⁴³, desde 2006.

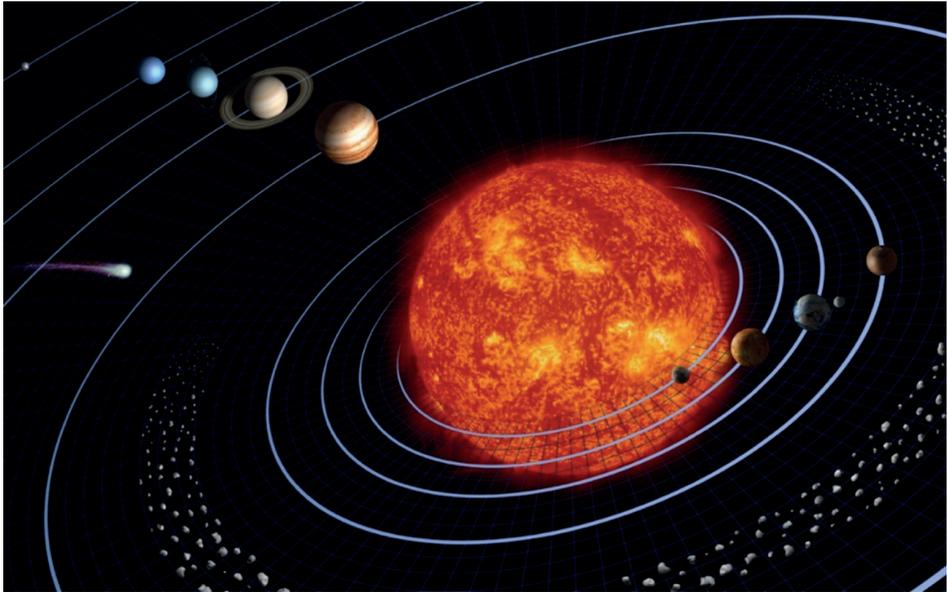


Figura 6. El Sistema Solar

Fuente: http://prometheus.jpl.nasa.gov/content/Images/solar_sys_br.jpg

3.3 Principales datos astrográficos

3.3.1 Gravedad.

Como la gravedad es, sin duda, la fuerza dominante que da forma al contexto material del espacio exterior, especialmente aquellas áreas que rodean los objetos celestes, el Sistema Solar podría llegar a considerarse como un lugar geográfico parecido a la Tierra, ya que contiene, en clave geopolítica, una serie de colinas, valles y pozos profundos, más poderosos y consecuentes que quizás cualquier cima de montaña o cañón en la Tierra. Un campo gravitacional que rodea un cuerpo en el espacio se deno-

43. Un planeta enano es el término creado por la Unión Astronómica Internacional (UAI) en su resolución del 24 de agosto de 2006, para definir a una nueva clase de cuerpos celestes diferentes de la de planeta. Según la UAI, un planeta enano es aquel cuerpo celeste que: 1) está en órbita alrededor de una estrella (Sol); 2) tiene suficiente masa para que su propia gravedad haya superado la fuerza de cuerpo rígido, de manera que adquiera un equilibrio hidrostático (forma casi esférica); 3) no es un satélite de un planeta u otro cuerpo no estelar y 4) no ha limpiado la vecindad de su órbita.

mina "pozo gravitatorio", y cuanto más masivo es el cuerpo (como el Sol), más intensa y mayor es la extensión del pozo gravitatorio asociada con él; en contraste, los pozos de gravedad de cuerpos menos masivos como asteroides y pequeñas lunas son más superficiales (figura 7).

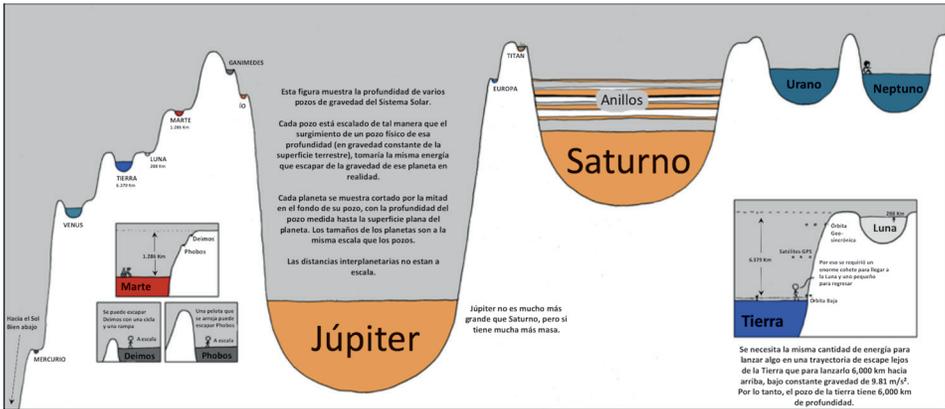


Figura 7. Pozos gravitatorios del Sistema Solar
Fuente: adaptada de <https://xkcd.com/>

Cualquier cosa en la superficie de un planeta o luna se considera que está en la parte inferior del pozo gravitatorio de ese cuerpo celeste, por lo que cuanto más profundo es un pozo de gravedad, más energía se debe usar para escalarlo y alcanzar la velocidad de escape que hace posible acceder al espacio exterior.

Por ende, el pozo gravitatorio de la Tierra (o el área espacial donde la atracción gravitacional de la Tierra es abrumadoramente dominante), ha creado autopistas de alta velocidad alrededor del planeta (órbitas terrestres), pero también ha hecho que viajar al espacio sea muy oneroso, ya que la mayor parte de la energía requerida para llegar a algún lugar en el espacio exterior se gasta en las primeras etapas del intento de escapar de la atracción gravitacional de la Tierra.

Aunque el espacio orbital es mucho mayor que el volumen total de la atmósfera, el aumento posible de la velocidad debido a la falta de fricción significaría que la distancia está comprimida (Rafie, 2005); por tanto, el viaje al espacio exterior representaría una disminución en la "distancia efectiva", ya que se podrían recorrer trayectos muy largos rápidamente cuando se viaja a velocidades muy altas (Deudney, 2018). Esta velocidad de viaje hace que el espacio ultraterrestre sea atractivo para los usuarios militares y comerciales, ya que la aparente abundancia de recursos y hábitats espa-

ciales se encuentra dispersa a grandes distancias de la Tierra. Pero lograr una órbita⁴⁴ estable requiere alcanzar una velocidad orbital que depende de la masa del objeto a orbitar; por ejemplo, la velocidad orbital de la Tierra es de al menos 28.163 kilómetros por hora, por lo que, a esta velocidad, un objeto puede circunnavegar el planeta en unos 90 minutos (Mendenhall, 2018).

En resumen, la gravedad dicta el tamaño y la forma de la órbita de una nave espacial. Los vehículos de lanzamiento deben primero vencer la gravedad para lanzar naves espaciales al espacio, y una vez que éstas se encuentran en órbita, la gravedad determina la cantidad de propulsor que sus motores deben usar para moverse entre órbitas o conectarse con otras naves espaciales. Y más allá de la Tierra, la atracción gravitacional de la Luna, el Sol y otros planetas daría forma similar al camino de la nave espacial. La gravedad es tan importante para el entorno geográfico del espacio ultraterrestre, que toda una rama de la astronáutica, llamada "astrodinámica", se ocupa de cuantificar sus efectos en las naves espaciales y el movimiento planetario (Sellers, et al., 2004).

3.3.2 Atmósfera.

Es la capa de gases que rodea a un cuerpo celeste (figura 8); los gases resultan atraídos por la gravedad del cuerpo, y se mantienen en ella, si la gravedad es suficiente y la temperatura de la atmósfera es baja. El aire que se respira en la Tierra constituye su atmósfera⁴⁵. Si bien esta atmósfera forma solo una capa delgada alrededor de la Tierra⁴⁶, las naves espaciales en órbita terrestre baja aún pueden sentir sus efectos⁴⁷; ciertamente, la atmósfera de la Tierra afecta de dos maneras a una nave espacial en órbita terrestre baja (por debajo de unos 600 kilómetros de altitud): 1) arrastre: acorta la vida de las órbitas y 2) oxígeno atómico: degrada las superficies de las naves espaciales. Pero para comprender la atmósfera y sus efectos, es necesario entender el papel que ejercen la "presión" y la "densidad" atmosféricas: la presión atmosférica

44. Hay varios tipos diferentes de órbitas o caminos que, por ejemplo, un satélite puede tomar en sus revoluciones alrededor del planeta Tierra; y dichas rutas orbitales tienen tres características principales (Parks, 2005): 1) altura; 2) excentricidad (circular o elíptica) y 3) inclinación (ángulo relativo al ecuador). En este sentido, la elección de la órbita dependería del uso del satélite, ya que debido a que los satélites se encuentran fuera de la atmósfera de la Tierra y por encima del entorno terrestre, tienen ventajas posicionales que los hacen atractivos para muchos usos diferentes.

45. Casi la totalidad del aire (un 95%), se encuentra a menos de 30 kilómetros de altura, encontrándose más del 75% en la troposfera. El aire forma en la troposfera una mezcla de gases bastante homogénea (nitrogeno, oxígeno, argón, ozono, vapor de agua, partículas sólidas y líquidas), hasta el punto de que su comportamiento es el equivalente al que tendría si estuviera compuesto por un solo gas.

46. La atmósfera terrestre protege la vida de la Tierra, absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta y actuando como escudo protector contra los meteoritos.

47. La altura de la atmósfera de la Tierra alcanza los 10.000 kilómetros, aunque más de la mitad de su masa se concentra en los primeros 6 kilómetros y el 75% en los primeros 11 kilómetros de altura, desde la superficie terrestre.

representa la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre, mientras que la densidad atmosférica dice cuánto aire está empaquetado en un volumen dado.

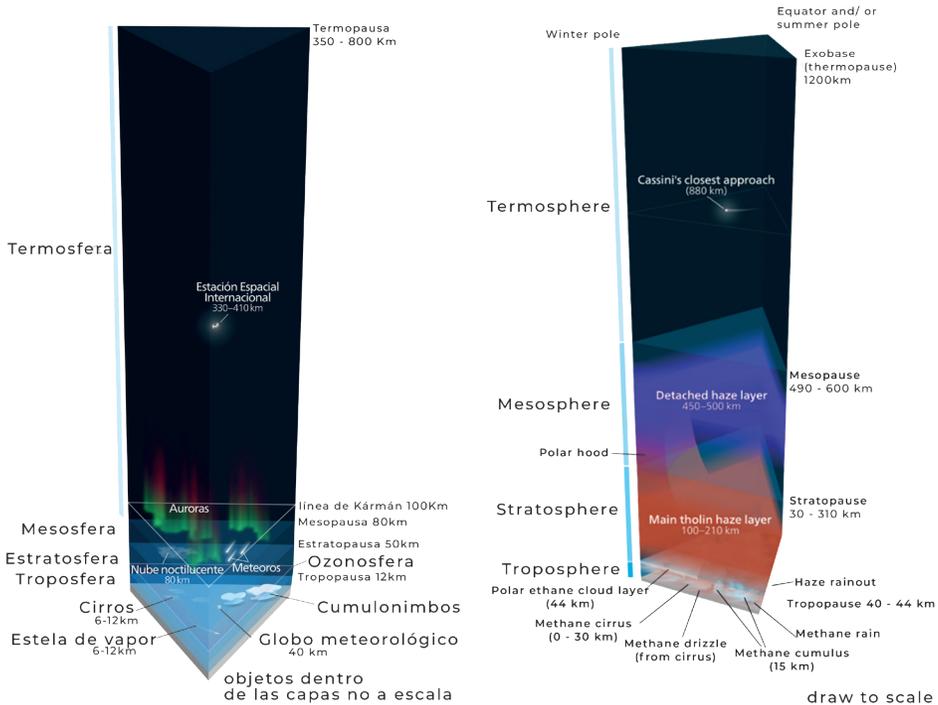


Figura 8. La atmósfera de la Tierra y la de Titán⁴⁸

Fuente: Kelvinsong <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

En este orden de ideas, a medida que se "sube" a la atmósfera, la presión y densidad comienzan a disminuir a un ritmo cada vez mayor, ya que a medida que se asciende al espacio exterior hay menos volumen de aire por encima, por lo que la presión y la densidad disminuyen. Sin embargo, la atmósfera terrestre no termina abruptamente en un punto dado, ya que incluso a altitudes bastante altas de hasta 600 kilómetros, continúa creando resistencia en las naves espaciales en órbita. El arrastre de la nave espacial en órbita depende de la densidad del aire más la velocidad, forma, tamaño y orientación de la nave espacial al flujo de aire, y afecta a cualquier nave espacial

⁴⁸. Titán es la luna más grande de Saturno y la segunda más grande del Sistema Solar. Comparte mucho en común con la Tierra, ya que es la única luna en el Sistema Solar con nubes y una atmósfera sustancial. El viento y la lluvia crean características similares a las que se encuentran en la Tierra, como dunas, lagos y ríos; pero en Titán llueve metano líquido, llenando los ríos, lagos y mares con hidrocarburos.

en una órbita muy baja (menos de 130 kilómetros), lo que lo lleva a un encuentro ardiente con la atmósfera en pocos días o semanas. Aun así, el efecto de arrastre en la nave espacial en órbitas más altas es mucho más variable, ya que entre 130 a 600 kilómetros, variará mucho dependiendo de cómo cambie la atmósfera (expansión o contracción), debido a variaciones en la actividad solar. A estas alturas y actuando durante meses o años, el arrastre puede causar que las naves espaciales en estas órbitas pierdan gradualmente altitud, llevándolos a reingresar a la atmósfera. Pero por encima de los 600 kilómetros, la atmósfera es tan delgada que el efecto de arrastre es casi insignificante.

Además del arrastre, también debe considerarse la naturaleza del aire; a nivel del mar, el aire contiene aproximadamente 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de otros gases diversos, como el argón y el dióxido de carbono. Normalmente, a los átomos de oxígeno les gusta estar en grupos de dos moléculas (O₂), y en condiciones normales cuando una molécula de oxígeno se separa por cualquier motivo, los átomos se reforman rápidamente en una nueva molécula. En las partes superiores de la atmósfera, las moléculas de oxígeno son pocas y distantes, y cuando la radiación y las partículas cargadas hacen que se separen, a veces se dejan solas como oxígeno atómico (O). El problema es que los materiales de las naves espaciales expuestas al O experimentan una descomposición u "oxidación" de sus superficies, debilitando sus componentes, cambiando sus características térmicas y degradando el rendimiento de sus sensores⁴⁹.

3.3.3 Vacío del espacio y el ambiente radioactivo.

El entorno geográfico del espacio exterior es abrumadoramente inhóspito para la vida y crea un conjunto de obstáculos para la operación y el mantenimiento de la tecnología humana. En efecto, más allá de la delgada piel de la atmósfera de la Tierra se encuentra el "vacío" del espacio, el cual crearía tres problemas potenciales para las naves espaciales (Sellers, et al., 2004): 1) gases de escape: liberación de gases de materiales de naves espaciales; 2) soldadura en frío: fusión de componentes metálicos y 3) transferencia de calor: limitada a la radiación. Como ya se mencionó, la densidad atmosférica disminuye dramáticamente con la altitud: a una altura de unos 80 kilómetros, la densidad de partículas es 10.000 veces menor que la del nivel del mar; pero a 960 kilómetros, se encontraría un volumen de espacio dado para contener un billón de veces menos aire que en la superficie.

49. Pero el oxígeno atómico también es vital para la supervivencia humana, ya que la mayoría del que flota en la atmósfera superior se combina con moléculas de oxígeno para formar una molécula especial, llamada ozono (O₃), que actúa como una cortina que bloquea la radiación dañina, especialmente la ultravioleta.

Un vacío puro, según la definición más estricta de la palabra, es un volumen de espacio completamente desprovisto de todo material; pero en la práctica, un vacío puro es casi inalcanzable, ya que incluso a una altitud de 960 kilómetros, todavía se encontraría alrededor de 1 millón de partículas por centímetro cúbico. Entonces, cuando se habla del vacío del espacio, se estaría hablando de un vacío "cercano". Por tanto, y debido a que el espacio exterior es un "vacío cercano", los organismos terrestres no pueden vivir en el espacio exterior sin la ayuda de tecnología avanzada⁵⁰, y los objetos basados en el espacio experimentan una enorme variación de temperatura, dependiendo de su ubicación en relación con el Sol. Pero fuera del filtro protector de la atmósfera también abunda la radiación; el "viento solar" implica un flujo continuo y de alta velocidad de partículas cargadas del Sol, con erupciones ocasionales de radiación intensa de alta energía llamadas "erupciones solares". Fuentes adicionales de radiación son los "rayos cósmicos" del exterior del Sistema Solar; estas partículas de alta energía viajan a una fracción apreciable de la velocidad de la luz y pueden causar daños masivos al tejido biológico.

Los cinturones de Van Allen son densas capas de partículas cargadas que se mantienen alrededor de la Tierra por su campo magnético, que también puede dañar a los humanos y a su tecnología. Este entorno hace que los vuelos espaciales humanos sean muy difíciles desde el punto de vista biológico, y requiere que todo lo que se haga en el espacio (con o sin humanos), incluya blindajes elaborados; es decir, se necesita hacer artificialmente lo que la atmósfera hace de forma natural, por lo que el costo de desarrollar actividades en el espacio es bastante alto.

Todas estas restricciones naturales, que hacen peligrosos y costosos los vuelos humanos al espacio exterior⁵¹, han alentado un cambio de la actividad humana a la basada en robots. En el espacio exterior hace un frío increíble, no hay nada que respirar, no hay comida y casi no hay agua; por ello, los robots pueden desempeñarse mejor en el vacío del espacio que los seres humanos, desde excavar asteroides para obtener materiales raros, hasta obtener imágenes de otros planetas (como lo hacen actualmente las sondas espaciales que navegan el Sistema Solar).

50. No obstante, criaturas de menos de un milímetro de largo conocidas como tardígrados (y a menudo llamadas "osos de agua"), se convirtieron en el primer animal en sobrevivir a la exposición al espacio en 2007, prevaleciendo a temperaturas bajo cero, vientos solares implacables y un vacío espacial privado de oxígeno. Posteriormente, en abril de 2019, viajaban en una nave espacial israelí que se estrelló en la Luna. Para la misión lunar israelí, los osos de agua fueron deshidratados y colocados en animación suspendida, para luego ser encerrados en ámbar artificial; y si bien para la mayoría de las criaturas no habría retorno de la deshidratación, los tardígrados pueden revivir décadas después de deshidratarse. Cuando se secan, retraen sus cabezas y sus ocho patas, se arrugan en una pequeña bola y entran en un profundo estado de animación suspendida que se parece mucho a la muerte. Derraman casi toda el agua de su cuerpo y su metabolismo se ralentiza al 0.01% de la tasa normal; y si se reintroducen en el agua décadas después, pueden reanimarse. En resumen, es posible que en la Luna habiten en la actualidad miles de seres vivos, o al menos en animación suspendida.

51. De los 135 vuelos del transbordador espacial de la NASA, dos terminaron en desastre y cada uno cobró siete vidas. Si se tolerara esa tasa de fracaso en los aviones comerciales en los Estados Unidos, se aceptaría más de 500 colisiones todos los días.

Sin embargo, ningún viaje no tripulado (ni siquiera el de las gemelas *Voyager*), ha provocado tanta emoción o asombro como la primera huella humana dejada sobre la superficie de la Luna por parte de Neil Armstrong, Buzz Aldring y Michael Collins (el equipo a cargo del *Apolo 11*), o el de una mujer que algún día haga lo mismo sobre la superficie de Marte⁵². Como lo ha atestiguado la historia, estaría en la naturaleza del ser humano explorar nuevos mundos y entornos, a pesar de los costos que estas aventuras podrían acarrear⁵³; no obstante, la gran ironía de la primera era espacial es que sus imágenes más emblemáticas no serían de la Luna ni de otros planetas, sino de la propia Tierra vista desde el espacio exterior⁵⁴.

Por tanto, la tecnología de vehículos para llevar seres humanos al espacio ultraterrestre enfrenta tres tareas principales: escapar de la gravedad para alcanzar el espacio orbital, mantener la integridad estructural mientras está allí y, en algunos casos, regresar de manera segura a la Tierra a través de su atmósfera; cada paso implica requisitos significativos de diseño y materiales para vehículos espaciales.

El lanzamiento requiere cohetes potentes y grandes cantidades de combustible, y los altos costos que habían persistido durante la primera era espacial obstruyeron la difusión del acceso al espacio; el costo aproximado de colocar una libra en órbita ha sido de US\$10.000, y aproximadamente el 85% del peso de un cohete en la plataforma de lanzamiento es combustible. Debido a que la fuerza de gravedad es constante, la reducción de los costos de lanzamiento solo se podría lograr disminuyendo el peso de las cargas útiles para minimizar la cantidad de combustible requerida, o mediante vehículos reutilizables, lo que sería la gran innovación de la actual segunda era espacial.

52. En los 58 años en los que los seres humanos han realizado vuelos espaciales, tan sólo 63 han sido mujeres (11% del total). Sin embargo, parecería ser que las mujeres estarían mejor equipadas para viajar al espacio ultraterrestre que los hombres, debido a varias razones (Drake, 2019): primero, son más pequeñas que los hombres, por lo que enviar humanos más ligeros al espacio es más eficiente en la medida que propulsar peso al espacio es costoso; además, habría un ahorro en el consumo de alimentos y oxígeno (ya que los hombres requieren entre 15 y 25% más calorías que las mujeres para los mismos niveles de energía), y menores exigencias a los sistemas de la nave diseñados para reciclar y desechar residuos corporales (personas más pequeñas producen menor bióxido de carbono y excreciones corporales). Segundo, las mujeres padecen menos los efectos físicos de viajes espaciales, particularmente aquellos de mayor duración; por causa de la radiación y de los efectos producidos por la microgravedad, si bien a los hombres parece afectarles menos el mareo, pierden la capacidad del oído y tienden a tener problemas de vista que las mujeres no experimentan con tanta frecuencia ni severidad. Tercero, las mujeres poseen algunos rasgos de personalidad que al parecer les faculta mejor en la convivencia de misiones de larga duración. Y cuarto, poblar otros mundos exige reproducirse y, hasta ahora, eso es imposible sin las mujeres; en vez de enviar una tripulación mixta de hombres y mujeres, enviar a una tripulación de mujeres y un banco de esperma crio-preservado permite que un programa espacial economice, y al mismo, incremente la diversidad del acervo genético.

53. Durante las misiones *Apolo*, el programa espacial de la NASA consumió hasta el 4.5% del presupuesto federal de los Estados Unidos (en la actualidad, el presupuesto de la NASA asciende al 0,5%).

54. La más célebre es "salida de la Tierra" (*Earthrise* en inglés), la fotografía de la NASA AS8-14-2383HR tomada por William Anders durante la misión del *Apolo 8* a la Luna, el 24 de diciembre de 1968. Estas imágenes desataron el movimiento ambiental al impulsar nuevas legislaciones para la protección del medio ambiente.

Empero, las operaciones en órbita requieren combustible y conciencia de la situación, no solo para mantener las órbitas, sino también evitar los desechos espaciales peligrosos. Es importante anotar que el espacio alrededor de la Tierra no está del todo vacío; por el contrario, contiene más de 20.000 toneladas de materiales naturales (polvo, meteoritos, asteroides y cometas), que golpean la Tierra cada año, además de un número significativo de escombros o basura espacial. Para las naves espaciales o los astronautas en órbita, el riesgo de ser golpeados por un meteoro o micro-meteoro es bastante remoto; sin embargo, desde el comienzo de la era espacial y con casi cada misión, piezas rotas de naves espaciales y otros desechos (alrededor de 2.200 toneladas), han comenzado a acumularse en las órbitas terrestres. Esta basura espacial plantea un riesgo creciente para la seguridad de las naves y los astronautas en órbita, ya que es más probable que en la actualidad una nave espacial en órbita baja golpee un pedazo de basura que un pedazo de material natural⁵⁵.

Por ende, hacer un seguimiento de toda esta basura espacial ha sido uno de los trabajos del Comando de Defensa Aeroespacial de América del Norte (NORAD) que ha utilizado radares y telescopios ópticos para rastrear más de 17.852 objetos en las órbitas de la Tierra (incluidos 1.419 satélites operacionales); no obstante, se estimaba a 2019 que más de 128 millones de pedazos de escombros de menos de un centímetro (escamas de pintura, astillas de metal, etc.)⁵⁶, aproximadamente 900.000 pedazos de escombros de 1 a 10 centímetros, y alrededor de 34.000 pedazos de más de 10 centímetros (demasiado pequeñas para que NORAD las rastree), también orbitaban la Tierra (Froehlich, 2019).

4. Regiones e imperativos astropolíticos de Colombia

Las teorías geo-deterministas de la geopolítica clásica propuestas por la escuela alemana, quizás condujeron inevitablemente a la exploración de una teoría política de la selección natural. Friedrich Ratzel⁵⁷, en su obra clásica titulada Geografía Política, comparaba el Estado a un organismo vivo, realizando un análisis biológico del gobierno (Ratzel, 1903)⁵⁸.

55. En 1996, la nave espacial *CERISE* se convirtió en la primera víctima certificada de basura espacial cuando su pluma de gradiente de gravedad de seis metros fue cortada durante una colisión con una pieza sobrante de un vehículo de lanzamiento *Ariane*. A diciembre de 2016, cinco colisiones satelitales habían generado aún mayores desechos espaciales.

56. La basura espacial de menor tamaño presenta un peligro a la seguridad operacional de las misiones espaciales. En órbita terrestre baja, un pequeño trozo de basura espacial se puede desplazar a velocidades fantásticas de 7.000 metros por segundo; esto le da una gran cantidad de energía a la hora de una colisión, incluso mucho más que una bala. Durante la misión del transbordador espacial en 1983, una escama de pintura de solo 0.2 milímetros de diámetro golpeó la ventana del Challenger, produciendo un cráter de 4 milímetros de ancho.

57. Geógrafo y biólogo alemán del siglo XIX; estuvo fuertemente influenciado por el trabajo de Charles Darwin.

58. Esta analogía del Estado orgánico no era algo nuevo, por cuanto Maquiavelo hizo analogías similares 400 años antes; no obstante, las observaciones de Ratzel fueron mucho más definidas.

Sin embargo, el trabajo más influyente de Ratzel sería *Der Lebensraum* (espacio vital), en el cual afirmaba que los organismos se adaptaban al espacio que ocupaban; por ende, en lo que era claramente una noción darwinista, Ratzel afirmaría que los grupos culturales humanos, actuando como organismos, intentarían colonizar el espacio a su alrededor, y si tenían éxito, expandirían su espacio vital (*Lebensraum*) o área de dominación.

Luego, el politólogo sueco Rudolf Kjellen llevaría la analogía a su extremo (Holdar, 1992), declarando inequívocamente que el Estado era un organismo compuesto por cinco "órganos": 1) *kratopolitik* o la estructura del gobierno; 2) *demopolitik* o la estructura de la población; 3) *sociopolitik* o la estructura social; 4) *oekopolitik* o la estructura económica y, 5) *geopolitik* o la estructura física. Kjellen (1916) insistía en que un Estado dinámico crecería y consumiría los Estados más débiles a su alrededor⁵⁹, y que, al hacerlo, el super-Estado lograría la autarquía o autosuficiencia nacional.

Para la astropolítica, la analogía del Estado como un organismo parecería adecuada, ya que una percepción común del interés de la humanidad por alcanzar las estrellas es que es simplemente el próximo avance lógico de la evolución de las especies, debido a que como la humanidad ha llenado y dominado el nicho biológico de la Tierra, ahora buscaría expandirse más allá de estos confines extendiéndose hacia el cosmos; si el ímpetu es la supervivencia de la humanidad (escapar a otro lugar habitable antes de arruinarlo con el holocausto ambiental o nuclear), la sobrepoblación (la válvula de seguridad biológica de la colonización espacial), la maximización de la riqueza (la búsqueda de materias primas y energía cada vez más abundantes), o una nueva interpretación del "destino manifiesto", el empuje de la humanidad hacia las estrellas se presentaría como inevitable. De acuerdo con Dolman (2005), un Estado que coloniza con éxito el espacio exterior indudablemente extraerá orgullo del logro y probablemente también obtendrá recursos mejorados, tecnologías derivadas y poder militar.

59. La teoría del Estado orgánico alcanzaría su máxima expresión con la creación de la escuela de la *Geopolitik* por parte del profesor general Karl Haushofer (1928). Esta escuela estaba principalmente orientada a despertar las fuerzas del expansionismo nacionalista en la población alemana, a través de una campaña de propaganda que enfatizaba la noción del *Lebensraum* o espacio biológico de vida de Kjellen (1916), dictando que el Estado, como representante vivo de su población colectiva, necesitaba espacio para prosperar. Durante la Alemania nazi, la teoría del Estado orgánico degeneraría en una curiosa mezcla de mitología nacional, pseudociencia, determinismo geopolítico y geoestrategia, para crear una forma única de geopolítica aplicada, que finalmente se convirtió en la encarnación de los planes para un nuevo imperio alemán en Europa central y oriental que estaba destinado a expandirse hasta donde su inevitable poder militar lo permitiera. No obstante, cabe resaltar que Hess y Hitler (estudiantes de Haushofer), basaron su plan para dominar el mundo en los principios básicos del dictamen de Mackinder; también es importante mencionar que el panregionalismo que propone Haushofer (Álvarez, et al., 2018), puede haber sido fuertemente influenciado por la política exterior de Estados Unidos del siglo XIX; de hecho, el plan alemán se denominó públicamente "una Doctrina Monroe para Europa".

En este orden de ideas, sería útil categorizar las regiones astropolíticas del Sistema Solar, ya que sus características influirían directamente en el desarrollo de la teoría del poder espacial y las estrategias encaminadas a que un actor estatal, como Colombia, pueda acceder de manera gradual al espacio ultraterrestre. Si bien el espacio exterior es físicamente indivisible, hay muchas regiones que son fácilmente discernibles, ya que la astrografía del espacio sería esencialmente la topografía invisible de los pozos de gravedad y las emisiones electromagnéticas. Por ejemplo, es posible considerar solo una clase de órbitas, como las órbitas geoestacionarias, y desarrollar una estrategia para el espacio geosíncrono.

Adicionalmente, y tomando como referencia las regiones astropolíticas, también sería posible determinar cuáles podrían ser los imperativos astropolíticos de Colombia en el siglo XXI. De acuerdo con Álvarez (2017^a, p. 373) los imperativos geopolíticos de un Estado serían:

Las necesidades estratégicas de carácter geográfico que un país debe perseguir si quiere lograr su propia seguridad y éxito en el plano regional o mundial; éstas son 'caminos' no ideológicos, determinados por la geografía de un Estado y la de sus vecinos.

Con base en lo anterior, un imperativo astropolítico podría considerarse como: las necesidades estratégicas de carácter espacial que un Estado debería perseguir si quiere lograr su propia seguridad multidimensional y proyectar su influencia en el plano regional o mundial. Es decir, los imperativos astropolíticos serían las obligaciones o deberes del Estado en función de su acceso y usufructo de las regiones astropolíticas.

En consecuencia, un buen punto de partida para definir las regiones astropolíticas es considerar la taxonomía de Collins (1989), la cual comprende cuatro regiones del entorno espacial (figura 9).

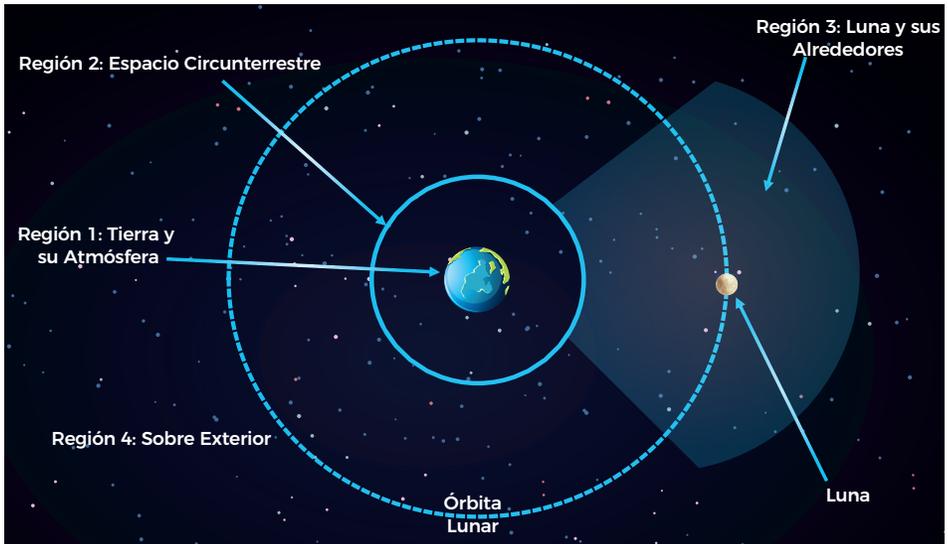


Figura 9. Regiones espaciales

Fuente: elaboración propia a partir de Collins (1989)

Mackinder (1904) identificó regiones distintas en su estudio sobre el poder mundial, para establecer cómo sus interacciones definirían el curso de la historia global. Como ya se ha comentado, Mackinder creía que la historia podía entenderse como una lucha alterna entre el poder marítimo y el terrestre; en este sentido, proyectó que el dominio naval de Gran Bretaña en el siglo XIX pronto daría paso a un poder continental con base en tierra, gracias a las nuevas tecnologías ferroviarias. Pues bien, con el próximo cambio en la tecnología del transporte, y con el inevitable aumento de la exploración espacial, parecería compatible una división comparable del entorno espacial en regiones político-geográficas. Entonces, siguiendo el ejemplo de Mackinder (1904), la astropolítica realizaría una demarcación de las regiones astropolíticas del Sistema Solar (figura 10).

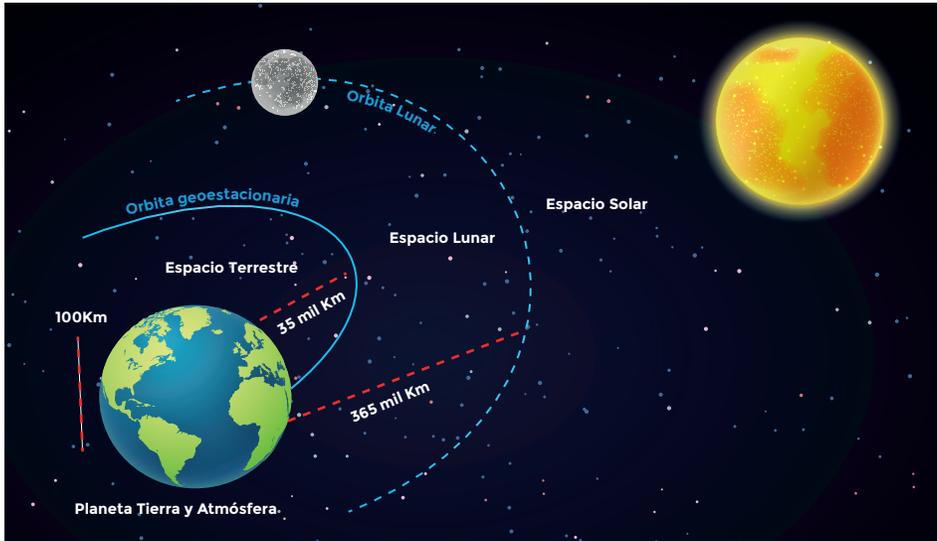


Figura 10. Regiones astropolíticas del Sistema Solar
Fuente: elaboración propia con base en Dolman (2005)

Una suposición de este análisis es que el potencial de recursos del espacio (como el *heartland* de Mackinder), es tan vasto, que, si un Estado obtuviese el control efectivo de él (por ejemplo, la Luna parece ser rica en aluminio, titanio, hierro, calcio y silicio), ese Estado podría dictar los destinos políticos, militares y económicos de todos los gobiernos terrestres. No obstante, el acceso a los recursos contenidos en asteroides, los planetas y sus lunas, los cometas y meteoritos, así como el Sol, solo es posible a través de las regiones intermedias entre esos cuerpos celestes y la Tierra; por ello, se describen a continuación las cuatro regiones astropolíticas del Sistema Solar (Dolman, 2005):

4.1 Primera región astropolítica: La Tierra y su atmósfera

Incluye la atmósfera, que se extiende desde la superficie terrestre hasta la línea de Kármán, a 100 kilómetros sobre el nivel del mar⁶⁰. Esta región astropolítica se ocupa de la topografía en el sentido clásico de la geopolítica (formas continentales, océanos, etc.), y es la región de transición entre el campo de estudio de la geopolítica y la astropolítica.

La inclusión de una región terrestre es un concepto crítico para el modelo de Dolman (1999), configurándose como un escenario adecuado para actividades espacia-

⁶⁰. En 1942, el cohete V-2 alemán fue el primer objeto artificial que cruzó la línea de Kármán, que es considerada generalmente como el borde entre la Tierra y el espacio exterior (Bille y Lishock, 2004).

les, ya que en la superficie de la Tierra se producen todos los lanzamientos espaciales actuales, operaciones de comando y control, investigación y desarrollo espacial, producción de naves y satélites espaciales, actividades anti-satélites, así como la mayoría de los mantenimientos, reparación y almacenamiento de activos espaciales.

Y si bien la eficiencia y la economía dictarán que todas las operaciones espaciales esenciales, incluidas la construcción y el lanzamiento, el seguimiento y el control, y diversas formas de comercio espacial se llevarán a cabo en el espacio exterior, por ahora, sin embargo, todas estas funciones seguirán estando ligadas a la Tierra. Aun cuando llegue el día en que estas funciones se realicen en el espacio ultraterrestre, la mayoría de la población que se alimentará de la generosidad del espacio exterior permanecerá en la Tierra, al igual que los gobiernos que controlarán las operaciones espaciales; por ende, la importancia de la Tierra y su atmósfera como primera región astropolítica no disminuirá, al menos en el corto plazo. En esta primera región astropolítica se destacan los puertos espaciales, ya que, para llegar al espacio, la humanidad depende de instalaciones especializadas construidas para enviar y recibir vehículos propulsados por cohetes. Hoy, docenas de sitios alrededor del globo albergan puertos espaciales; en la actualidad, 21 están activos, incluidos los únicos tres que han enviado humanos al espacio (figura 11).



Figura 11. Puertos espaciales en el mundo
Fuente: adaptada de Soren Walljasper, Ng Staff.

Por consiguiente, y dadas las realidades actuales, una pregunta astropolítica podría ser: ¿En qué lugar de la Tierra se encuentran los puertos espaciales más eficientemente ubicados? Pues bien, así como el diseño y planeamiento de la órbita de un satélite requiere de conocimientos en mecánica orbital y astrodinámica⁶¹, la elección de la ubicación perfecta de un puerto espacial implica también el estudio y análisis de muchos parámetros diferentes.

Entre ellos, una de las principales preocupaciones de los ingenieros y científicos espaciales es garantizar que el satélite en cuestión reciba el mayor impulso natural posible durante su ascenso inicial. Como el planeta Tierra gira alrededor del Sol, y la velocidad con la que lo hace es de 108.000 kilómetros por hora, es evidente que la velocidad orbital de la Tierra es muy rápida; en consecuencia, si se lanza un cohete en la misma dirección en la que se mueve el planeta, el cohete obtendría una buena ventaja en materia de velocidad. Por tanto, lanzar un cohete desde la costa este de un Estado le da un impulso adicional, debido a la velocidad de rotación de la Tierra; además, y ante la eventualidad de algún accidente durante su ascenso, los escombros caerían esencialmente en aguas de un océano al viajar hacia el este, lejos de áreas densamente pobladas (figura 12).

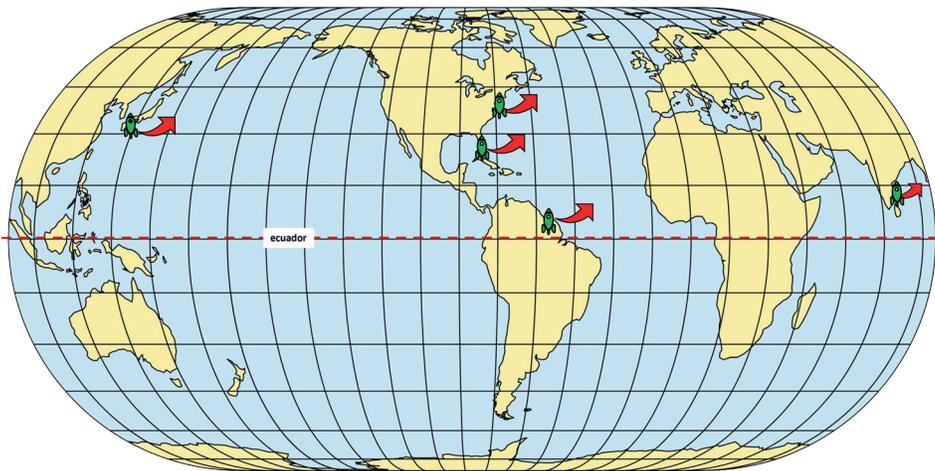


Figura 12. Sitios de lanzamiento hacia el este
Fuente: elaboración propia

Al ser máquinas complejas que pesan un par de cientos de miles de libras, huelga decir que existen múltiples cosas que pueden salir mal durante el lanzamiento de un cohete, por lo que se deben tener en cuenta innumerables contingencias para

⁶¹. Ver Capítulo X del Volumen II de esta obra.

minimizar aquellos riesgos asociados con el lanzamiento de estas naves espaciales. Probablemente la situación más peligrosa es la falla a mitad del vuelo; esto podría tener graves consecuencias, como la explosión del vehículo y la quema de escombros que caen del cielo y aterrizan sobre áreas habitadas. Ello justifica la razón por la cual ciertos puertos espaciales como el Centro Espacial Kennedy en la Florida (que realiza la mayoría de los lanzamientos de cohetes en los Estados Unidos), y el Centro Espacial Satish Dhawan en Sriharikota (el puerto espacial de mayor tráfico espacial en India), se encuentran al lado de un mar abierto; tales ubicaciones se eligen, entre otras, en un esfuerzo por minimizar (si no eliminar por completo), el riesgo para la vida humana en el caso de una falla durante el ascenso inicial de un cohete.

En este sentido, construir un puerto espacial colombiano en la Península de La Guajira, un territorio al este de la geografía colombiana y contiguo al mar, parecería ser conveniente (figura 13); sin embargo, no estaría geográficamente resguardado de posibles amenazas externas⁶², y no aprovecharía suficientemente la ventaja geoestratégica que proveerían otros territorios ecuatoriales de Colombia, por cuanto la costa del Caribe colombiano no se encuentra tan cerca de la línea del ecuador.



Figura 13. Puerto espacial en la Península de La Guajira
Fuente: elaboración propia con base en Google Earth

62. Tal sucedería con otro candidato a puerto espacial en Colombia, la base aérea de Marandúa en el Vichada, que se encuentra a escasos 123 kilómetros de la frontera colombo-venezolana.

Con base en lo anterior, otro criterio para la elección de un sitio ideal de lanzamiento para naves espaciales tendría que ver con otro tipo de movimiento que tiene el planeta Tierra: el de rotación, es decir, el de girar continuamente sobre su eje. No obstante, esta velocidad de rotación no es la misma en todas partes del planeta; está en un máximo en aquellas áreas que se encuentran en la línea del ecuador (en donde la velocidad ecuatorial promedio es de 1.674 kilómetros por hora); en contraste, por ejemplo, de las regiones polares, en donde es prácticamente inexistente. Como resultado y, teniendo en cuenta que la velocidad de rotación de la Tierra es la más alta en el ecuador⁶³, la mayoría de los sitios de lanzamiento en el mundo se encuentran cerca del ecuador; esto se debe a que los cohetes lanzados desde sitios cerca del ecuador obtienen un impulso natural agregado que ayuda a ahorrar el costo de combustible y otros esfuerzos adicionales. Otra razón por la que se lanzan cohetes desde lugares cercanos a la línea del ecuador es que los satélites destinados a alcanzar una órbita geoestacionaria, deben tener una inclinación de cero grados con respecto al plano ecuatorial; si no, se ven obligados a realizar correcciones complejas del curso, requiriendo un mayor volumen de combustible para alcanzar la órbita adecuada.

Con base en estas premisas, la administración Trump firmó en marzo de 2019, un acuerdo preliminar con Brasil para conducir en el futuro posibles lanzamientos de cohetes estadounidenses desde Alcântara, el centro de lanzamiento brasileño. El objetivo del gobierno brasileño ha sido ofrecer una ubicación más económica que la del Centro Espacial de Guayana en la Guayana Francesa, donde se lanzan en la actualidad todos los cohetes de la Agencia Espacial Europea (ESA). En este orden de ideas, Alcântara cuenta con dos ventajas geográficas que otros puertos espaciales: 1) está localizado en la costa de Brasil, con el Océano Atlántico al este; ese es uno de los criterios anteriormente mencionados para el establecimiento de un puerto espacial, ya que muchos cohetes se lanzan hacia el este para que coincidan con la dirección de la órbita de la Tierra y 2) su proximidad al ecuador, lo cual se constituye en el mayor activo geopolítico del puerto espacial de Brasil.

Existiría otra característica crítica para la ubicación de centros de lanzamiento espacial (Dolman, 2005); ésta tendría que ver con las perturbaciones orbitales que degra-

63. El ecuador es el círculo máximo imaginario perpendicular al eje de rotación de la Tierra; este círculo, equidistante de los polos, divide la Tierra en dos hemisferios: hemisferio Norte, semiesfera que abarca desde el ecuador hasta el polo Norte, y hemisferio Sur, la otra semiesfera que comprende desde el ecuador hasta el polo Sur. Al norte y al sur del ecuador y, paralelos al mismo, se pueden trazar una sucesión de círculos menores imaginarios que se hacen más pequeños a medida que se acercan a los polos; estos círculos menores (incluido el ecuador) reciben el nombre de paralelos. Aparte del ecuador, los cuatro paralelos más notorios son: el Trópico de Cáncer (23°27'N) y el Trópico de Capricornio (23°27'S), los cuales marcan los puntos más al norte y al sur del ecuador donde los rayos del Sol caen verticalmente, es decir, son las latitudes máximas que alcanza el astro en su movimiento anual aparente; y el Círculo Polar Ártico (66°33'N) y el Círculo Polar Antártico (66°33'S), que marcan los puntos más al norte y al sur del ecuador donde el Sol no se pone en el horizonte o no llega a salir hacia unas fechas determinadas (solsticios).

dan la estabilidad de todas las órbitas terrestres (a excepción de dos órbitas), lo que requiere gastos regulares de esfuerzo de velocidad total para estabilizarlas. Las órbitas altamente estables están inclinadas a 63.4° y 116.6° con respecto al plano ecuatorial; esto significa que un satélite en órbita en cualquiera de estas inclinaciones se mantendrá estable con gastos mínimos de combustible, lo que aumentará en gran medida su vida útil. Más importante aún, los satélites que operan en redes mantendrán su espacio adecuado sin correcciones orbitales continuas. En consecuencia, los satélites lanzados hacia el este (maximizando los efectos de rotación de la Tierra), desde un puerto espacial a 63.4° de latitud norte o sur, entrarán eficientemente en una órbita inclinada de 63.4° con un gasto mínimo de combustible a bordo.

Las geolocalizaciones a 63° norte con suficiente capacidad de rango inferior incluyen el norte de Siberia, la costa este de Groenlandia, el extremo norte de Canadá y la mayor parte de Alaska; por su parte, la latitud sur de 63° se cruza con la masa terrestre antártica (una ubicación terrestre ineficiente en costos para un importante puerto espacial), por lo que más accesibles de estas áreas son Alaska y el noroeste de Siberia. Por eso no todos los satélites se lanzan desde regiones ecuatoriales; por ejemplo, los satélites que necesitan alcanzar una órbita polar alrededor de la Tierra no tendrán ningún uso para el impulso natural de la rotación de la Tierra, ya que se dirigen hacia el norte o hacia el sur. Ello determina que existan también sitios de lanzamiento cerca de los polos, como el Cosmódromo Plesetsk del norte de Rusia, ubicado exactamente a 63.4° de latitud norte; en efecto, cuanto más al norte o al sur se encuentre un puerto espacial, más fácil será lanzar un satélite a una órbita que pase sobre los polos de la Tierra.

Otra consideración con relación a la ubicación de puertos espaciales y centros de comando y control espacial son los campos de visión de los satélites. El punto por resaltar aquí es que, para controlar los satélites en el espacio o para controlar la Tierra desde el espacio, se requiere una red global de centros de contacto terrestres o una red global de satélites interconectados, respectivamente. Por varias razones, un Estado puede desear evitar la última opción, ya que las redes vinculadas por satélite serían más vulnerables a la interferencia de Comando, Control, Comunicaciones e Inteligencia (C³I), que las redes no vinculadas, lo cual preocupa sobre todo en los satélites de espionaje⁶⁴. Independientemente de los requisitos de control del satélite y/o la red, el

64. La transmisión en ráfaga (y/o la transmisión de haz), dirigida desde el satélite al control de tierra es mucho más segura; sin embargo, el enlace C³I de satélite a satélite sería más oportuno. No obstante, China transmitió, desde el satélite *Micius*, mensajes "a prueba de interferencia" a dos estaciones receptoras en tierra separadas a 1.200 kilómetros de distancia; estos mensajes estaban protegidos mediante la explotación de la física cuántica, que dice que cualquier intento de espiarlo haría cambios detectables. La teletransportación cuántica podría aprovecharse para producir una nueva forma de red de comunicación, en la que la información sería codificada por los estados cuánticos de los fotones enredados, en lugar de cadenas de 0s y 1s. La gran ventaja de seguridad radica en que es imposible para un espía medir los estados de los fotones sin molestarlos y revelar su presencia.

espacio dicta la cantidad de satélites necesarios para una cobertura efectiva; las limitaciones físicas de la mecánica orbital dictan que la única ubicación en el espacio que permite que un satélite mantenga una posición constante con respecto a la superficie de la Tierra es el cinturón geoestacionario. Para optimizar el acceso a la Tierra desde la posición geoestacionaria, sería necesaria una red de al menos tres satélites para ver cualquier punto de la Tierra entre 70° de latitud norte y sur⁶⁵.

Sin embargo, incluso con tres satélites, no se puede acceder de manera confiable a gran parte del territorio de la Tierra, ya que las áreas terrestres por encima de los 70° de latitud tienen dificultades de transmisión desde los satélites en órbita geoestacionaria, especialmente en condiciones climáticas adversas y durante periodos de alta actividad solar; estas áreas incluyen gran parte de Escandinavia, Rusia y Canadá. Por ende, se requiere una red alternativa o auxiliar de tres a seis satélites en órbita de tipo Mólniya para una comunicación continua⁶⁶, pero para proporcionar una cobertura verdaderamente global de la Tierra desde el espacio exterior, incluidas las regiones polares, en teoría se requiere un mínimo de solo cuatro satélites. Colocado en órbitas supersíncronas inclinadas precisas de 63.4° (más de 24 horas), se puede ver un satélite desde cualquier punto de la Tierra en cualquier momento; debido a que estos satélites no están fijos en relación con la superficie de la Tierra, los usuarios terrestres necesitarían la capacidad de rastrear y adquirir satélites a medida que se mueven dentro y fuera de la vista, una práctica costosa y que consume mucho tiempo. Además, los satélites a altitud síncrona requieren transmisores grandes, pesados y de alta salida para comunicarse con los usuarios terrestres (debido a la distancia física); incluso, no son adecuados para algunas misiones, como las imágenes terrestres de alta resolución (nuevamente debido a la distancia).

Por el contrario, para garantizar comunicaciones continuas con cualquier satélite de la Tierra, se necesitan al menos tres estaciones de control espaciadas uniformemente alrededor del planeta para satélites de órbita terrestre alta, y un mínimo de 16 estaciones de control para los de órbita terrestre baja. Esta es la razón por la cual Estados Unidos ha ubicado estaciones de rastreo del espacio profundo en Australia y España, mientras Rusia ha mantenido una flota de naves de control y rastreo espacial desplegadas en aguas internacionales. Sin embargo, el control terrestre y las bases de

65. Los campos de visión de satélites superpuestos son necesarios para tener en cuenta las líneas de visión altamente oblicuas desde la extremidad de la Tierra; por tanto, dos satélites no pueden cubrir efectivamente el globo.

66. La órbita de Mólniya es un tipo de órbita muy elíptica con una inclinación de 63.4° y un periodo orbital de unas 12 horas. Un satélite situado en esta órbita se pasa la mayor parte del tiempo sobre una determinada área de la Tierra, fenómeno conocido como "pozo del apogeo". Las órbitas Molniya no están limitadas a la Tierra, sino a cualquier cuerpo celeste con forma de geoide; dicha forma da lugar a variaciones seculares en la longitud del nodo ascendente y el argumento del perigeo. Para mayor información, ver Capítulo X del Volumen II de esta obra.

recepción de datos se vuelven menos importantes a medida que las redes de satélite se hacen más comunes. El enlace electromagnético de satélite a satélite significa que las funciones anteriormente dispersas se pueden realizar desde prácticamente cualquier sitio en todo el mundo. No obstante, esa situación acrecienta la vulnerabilidad al extender el enlace de comando y control y aumentar el número de nodos de operaciones críticas. A medida que las órbitas de los satélites disminuyen en altitud y crecen en valor práctico, se requieren más satélites para mantener una cobertura global continua. El sistema de navegación por satélite de posicionamiento global (GPS), que tiene un requisito operativo para que cuatro satélites estén a la vista de cualquier punto de la Tierra en un momento dado (para una geolocalización precisa), requiere que 21 satélites estén espaciados con precisión en órbitas semisincrónicas inclinadas (12 horas) a 24.000 kilómetros de altitud. También entrarían en juego otros criterios para la ubicación de puertos espaciales en la Tierra, como la accesibilidad al puerto espacial (debería ser fácilmente accesible desde tierra, aire y/o mar), y la existencia de defensas naturales que potencien el resguardo de su infraestructura crítica⁶⁷. Además, un lanzamiento espacial orbital desde cualquier puerto espacial requiere condiciones climáticas favorables. Los primeros puertos espaciales se elevaron en el apogeo de la Guerra Fría (en Estados Unidos y la Unión Soviética), en donde las consideraciones para la defensa de dichas instalaciones eran un asunto de seguridad nacional. Posteriormente, y entre las décadas de 1960 y 1980, otros actores como China, India y Japón construyeron sus propios puertos espaciales, dándoles independencia para lanzar sus propias misiones. A pesar de ello, los puertos espaciales estarían en un momento de transición en la actualidad, ya que a medida que las órbitas se sigan comercializando, las compañías privadas se esforzarán por ofrecer viajes relativamente asequibles a las distintas órbitas; y resulta que estas corporaciones privadas también necesitan lugares para el lanzamiento de sus cohetes. Por ejemplo, *SpaceX* ha arrendado la plataforma de lanzamiento 39A del Centro Espacial Kennedy, la misma plataforma que envió al *Apolo 11* a la Luna en 1969⁶⁸; la compañía utilizará las instalaciones de la NASA al

67. Por ejemplo, los chinos tienen sus puertos espaciales al interior de sus montañas, en principio por razones defensivas. Los puertos espaciales terrestres son vulnerables a los ataques físicos cinéticos de una variedad de armas militares convencionales, desde misiles guiados hasta fuego de armas pequeñas a distancias más cortas. Debido a que a menudo son altamente visibles y son más accesibles que los objetos en el espacio, los puertos espaciales pueden ser un blanco más fácil para los adversarios que buscan interrumpir o degradar los sistemas espaciales del enemigo. Incluso si las estaciones terrestres son difíciles de atacar directamente, pueden ser interrumpidas indirectamente atacando la red eléctrica, el suministro de agua y las líneas de comunicación de alta capacidad que las soportan.

68. Una plataforma de lanzamiento consiste en una base y un soporte de lanzamiento, estructura metálica que mantiene el cohete vertical antes de su lanzamiento; los cables umbilicales del soporte de lanzamiento proporcionan al cohete energía mediante líquidos refrigerantes y propelente de relleno antes del lanzamiento (la estructura también ayuda a proteger el cohete de los rayos). Los diferentes puertos espaciales tienen distintas formas de poner cohetes en las plataformas de lanzamiento; por ejemplo, en el Centro Espacial Kennedy de la NASA, el transbordador espacial se ensambló verticalmente y se trasladó a la plataforma de lanzamiento en un vehículo similar a un tanque llamado rastreador, mientras que, en el programa espacial ruso, se transporta cohetes horizontalmente en tren hasta la plataforma de lanzamiento, donde luego se levantan en posición vertical.

menos hasta la década de 2030, ya que está construyendo un puerto espacial privado en Brownsville, Texas. *Blue Origin* también tiene una instalación de lanzamiento en Texas y una plataforma de lanzamiento alquilada en Cabo Cañaveral, y en 2018, la estadounidense *Rocket Lab* lanzó con éxito pequeños satélites a órbita desde su propio sitio de lanzamiento en la Península de Mahia, en Nueva Zelanda. En 2018 hubo 90 lanzamientos orbitales, pero solo 29 de ellos despegaron de Estados Unidos (figura 14); por eso, cuando termine de despegar la economía espacial, la demanda por otras ubicaciones para el lanzamiento de cohetes podría también aumentar considerablemente⁶⁹.

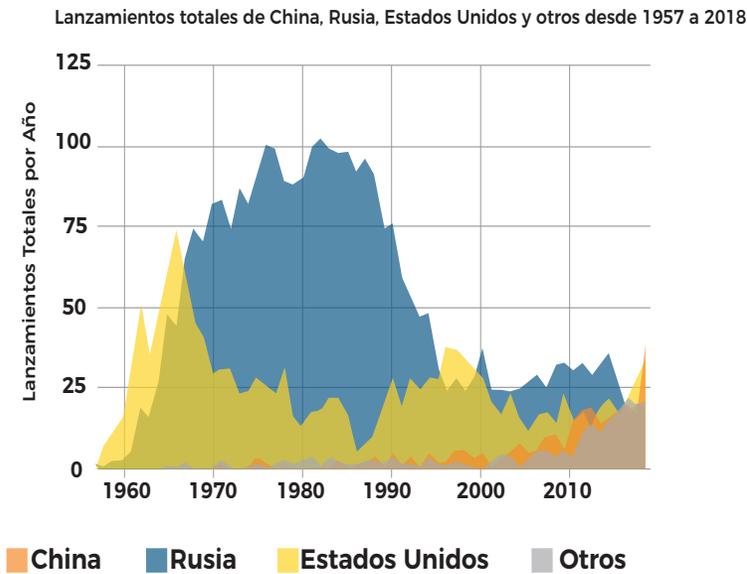


Figura 14. Lanzamientos totales por país
Fuente: adaptado de Harrison, Johnson y Roberts (2019)

Con base en las consideraciones anteriores, y tomando en cuenta que la primera región astropolítica de la Tierra y su atmósfera son los equivalentes conceptuales de una zona costera para el espacio exterior (Dolman, 2005), y que como todos los objetos

Las plataformas de lanzamiento también tienen características que minimizan el daño del lanzamiento del cohete: cuando un cohete se enciende por primera vez, las válvulas que recubren la plataforma rocían cientos de miles de galones de agua en el aire alrededor del escape, lo que ayuda a disminuir el ruido ensordecedor del cohete; además, las trincheras debajo de la plataforma de lanzamiento también dirigen el escape del cohete hacia afuera y lejos de la nave, por lo que las llamas no pueden volver a levantarse y envolver el cohete.

⁶⁹ Es importante señalar que los puertos espaciales no están exentos de generar ciertos problemas; por ejemplo, los bulliciosos puertos espaciales podrían complicar el espacio aéreo de los países, presentando desafíos para el control del tráfico aéreo, y como cualquier instalación importante, podrían llegar a tener impactos ambientales, desde la contaminación acústica hasta posibles derrames de combustible para cohetes.

que salen de la Tierra al espacio exterior deben pasar a través de esta región (y viceversa), el **primer imperativo astropolítico** de Colombia sería: asegurar una “*cabeza de playa*”⁷⁰ en la *región astropolítica de la Tierra y su atmósfera*. La Tierra y su atmósfera, como el este de Europa en el diseño de Mackinder, podría ser, en consideración de los autores de este capítulo, el escenario más crítico para la astropolítica. En efecto, Mackinder (1962) teorizaba que aquel que controlase Europa del Este controlaría el *heartland*, y aquel que controlase el *heartland* dominaría la Isla Mundial. Pues bien, aquel que tenga las capacidades autónomas tangibles e intangibles de acceder al espacio exterior, tendrá la facultad de usufructuar los vastos recursos del Universo, así como restringirle o incluso negarle, a aquellos actores que no tengan las capacidades de acceder al espacio, el acceso a esos recursos. Como resultado, contar con cohetes y centros de lanzamiento es primordial en las intenciones de acceso al espacio, más aún si se tienen las condiciones técnicas y geográficas para hacerlo.

En este orden de ideas, para satisfacer el primer imperativo astropolítico de Colombia, la astroestrategia del Estado colombiano sería construir y operar uno o dos puertos espaciales en la geografía colombiana, que no solo le otorguen al Estado la autonomía de desarrollar sus propias misiones espaciales, sino también de ofrecer servicios de lanzamiento a otros Estados y empresas privadas, aprovechando la condición estratégica de país ecuatorial. Por tanto, una región con gran potencial para el establecimiento de un puerto espacial en territorio colombiano podría ser el valle del Patía, en el departamento del Cauca (1°59'38.57" N, 77°06'34.71" O), ya que además de ser una región seca a tan solo 586 metros sobre el nivel del mar (donde el combustible produce su máximo rendimiento), también esta localizada muy cerca de la línea del ecuador. Resguardado por el Océano Pacífico y la Cordillera Occidental de los Andes, el valle del Patía se encuentra contiguo a la carretera Panamericana (figura 15), que lo conectaría con los aeropuertos de Cali (a 180 kilómetros), Popayán (a 78 kilómetros) o Pasto (a 86 kilómetros), así como con el puerto marítimo de Buenaventura (a 215 kilómetros), por lo que no habría que construir una infraestructura adicional para el transporte de personal, componentes tecnológicos o combustible para los cohetes; incluso, hace muchos años atrás pasaba una línea férrea cerca a dicho territorio que podría recuperarse.

70. Cabeza de playa o cabecera de playa es un término militar usado para describir la línea creada cuando un grupo de unidades armadas alcanzan la costa y comienzan a defender el área hasta que se produce el arribo de un número suficiente de refuerzos, momento en el que se crea una posición lo bastante fuerte como para comenzar un avance ofensivo.

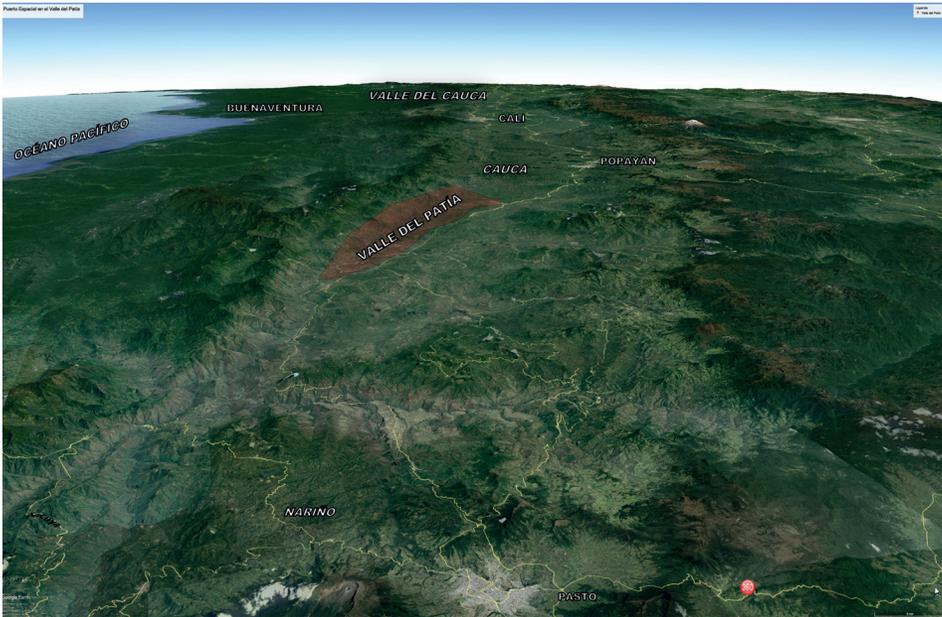


Figura 15. Puerto espacial en el Valle del Patía
Fuente: elaboración propia con base en Google Earth

Por ende, un puerto espacial en el Valle del Patía tendría una ligera ventaja con relación a los centros de lanzamiento de Alcântara en Brasil y de Cabo Cañaveral en La Florida, ya que se encuentra a una latitud de solo 1° al norte del ecuador⁷¹, en comparación con los 2.3° al sur de Alcântara y los 28.5° al norte del puerto espacial de la NASA en La Florida. El sitio facilitaría mucho a los operadores de satélites enviar cargas útiles a una órbita ecuatorial, ya que desde Colombia los cohetes obtendrían un impulso adicional en la velocidad, gracias a la rotación de la Tierra, que ayuda a ahorrar combustible. En contraste, llegar a la órbita geoestacionaria desde La Florida requiere un poco de más de trabajo, ya que los cohetes deben depositar un satélite en un camino ligeramente inclinado desde el ecuador (a una inclinación de 28.5 grados), obligando a los satélites a cambiar su dirección en órbita, lo cual requiere de un mayor consumo de combustible; por el contrario, en el Valle del Patía dicho cambio sería minúsculo y requeriría menos combustible.

71. La latitud proporciona la localización de un lugar, en dirección norte o sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0° del ecuador hasta los 90°N ($+90^\circ$) del polo Norte o los 90°S (-90°) del polo Sur. Por su parte, la longitud proporciona la localización de un lugar, en dirección este u oeste desde el meridiano de referencia 0° , o meridiano de Greenwich, expresándose en medidas angulares comprendidas desde los 0° hasta 180°E ($+180^\circ$) y 180°W (-180°). Los meridianos consisten en semicírculos que, pasando por los polos, son perpendiculares al ecuador; cada meridiano está compuesto por dos semicírculos, uno que contiene al meridiano considerado y otro al meridiano opuesto (antimeridiano). Cada meridiano y su antimeridiano dividen la Tierra en dos hemisferios: occidental y oriental. Por consiguiente, el meridiano de Greenwich es el que divide la Tierra en los hemisferios oriental y occidental

Otro territorio colombiano con las condiciones para albergar un puerto espacial sería el desierto de la Tatacoa ($3^{\circ}13'25.28''$ N, $75^{\circ}10'08.50''$ O), la segunda zona árida más extensa de Colombia después de la Península de La Guajira. Al igual que el Valle del Patía, el desierto de la Tatacoa también se constituye como un lugar geográficamente privilegiado por su ubicación próxima al ecuador terrestre, a 436 metros sobre el nivel del mar y protegido entre cordilleras. Adicionalmente, por sus linderos pasa una adecuada infraestructura vial que lo conecta con la capital del país y otras ciudades intermedias; en efecto, al encontrarse en el núcleo vital de Colombia (Álvarez, 2017a) y al norte del Departamento del Huila, la Tatacoa se ubica a escasos 38 kilómetros del aeropuerto de la ciudad de Neiva, a 125 kilómetros de Ibagué y a 189 kilómetros de Bogotá (figura 16).

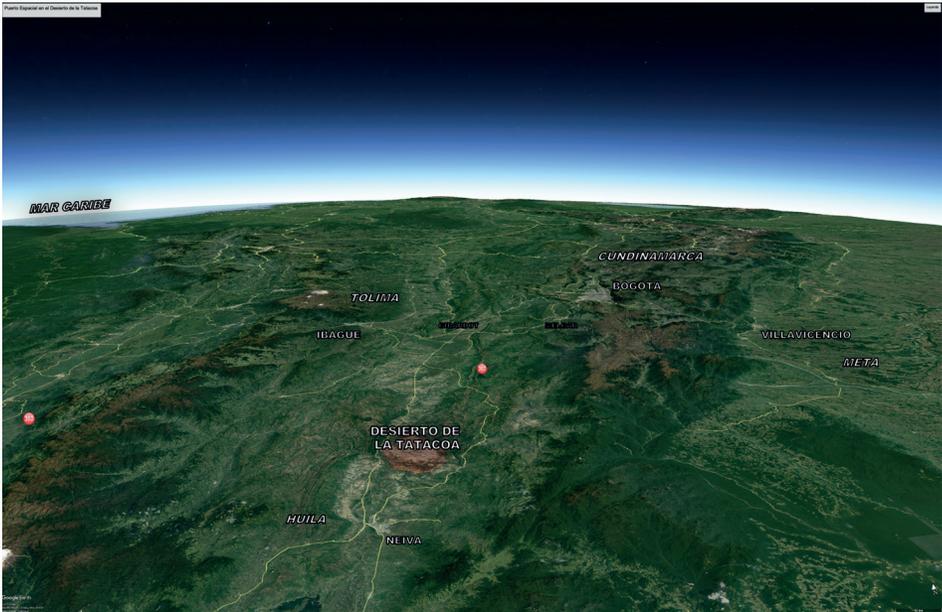


Figura 16. Puerto espacial en el Desierto de la Tatacoa
Fuente: elaboración propia con base en Google Earth

Además, por dicha región pasa el oleoducto del Alto Magdalena, así como un poliducto y gasoducto que facilitarían el suministro de combustible y energía requerida para las operaciones del puerto espacial; y ya que no cuenta con una polución lumínica ni auditiva significativa, las condiciones geográficas y atmosféricas en la Tatacoa son perfectas para la observación de los cuerpos celestes (desde allí se pueden observar las 88 constelaciones), lo que habilitaría a que en dicha región se pudiese establecer una ciudad espacial, con puertos de lanzamiento, centros de comando y

control, universidades e institutos técnicos en profesiones y saberes relacionados con las actividades aeroespaciales y, observatorios astronómicos.

En resumen, la Tierra y su atmósfera es el punto de origen actual de todas las naves espaciales y operaciones de apoyo espacial. Y el sitio de lanzamiento de origen de una nave espacial tiene un impacto significativo en su órbita. El ecuador tiene un valor particular como ubicación del sitio de lanzamiento, especialmente en órbita geoestacionaria; esto se debe a que el giro de la Tierra se puede utilizar para ayudar a alcanzar la velocidad orbital, y la velocidad relativa del movimiento de la Tierra disminuye, de 1.670 kilómetros por hora en el ecuador, a ningún movimiento relativo en los polos. Dado que la velocidad mínima necesaria para salir del pozo de gravedad de la Tierra es de poco más de 28.000 kilómetros por hora (mach 25), un vehículo de lanzamiento que se dirija hacia el este a lo largo del ecuador tendría que alcanzar una velocidad de solo 26.400 kilómetros por hora, en relación con su punto de lanzamiento para alcanzar la órbita. Por el contrario, un satélite lanzado hacia el oeste a lo largo del ecuador tendría que agregar 1.670 kilómetros por hora, y por tanto necesitaría alcanzar una velocidad de casi 29,700 kilómetros por hora en relación con su punto de partida para colocar un satélite en órbita, una diferencia de 3,300 kilómetros por hora. Un lanzamiento hacia el este desde el desierto de la Tatacoa, a solo 3° al norte del ecuador, recibe una ventaja de eficiencia de combustible del 17% sobre un cohete estadounidense lanzado al este desde Cabo Cañaveral, a 28.5° al norte del ecuador.

Y dado que los lanzamientos de latitudes más bajas a menudo requieren menos energía y, por tanto, menos propulsores que los de las latitudes más altas, el mismo vehículo de lanzamiento podría usarse para lanzar más masa desde Colombia que desde, por ejemplo, el Cosmodrome de Plesetsk en Rusia. Del mismo modo, un satélite lanzado desde el norte de Escocia requeriría más propelente para alcanzar algunas órbitas que el mismo satélite lanzado a la misma órbita desde el Valle del Patía o el Desierto de la Tatacoa. Como el cinturón geosíncrono sigue siendo un régimen orbital clave para la seguridad nacional de los Estados que viajan al espacio, Rusia y China han invertido en oportunidades de lanzamiento de latitudes más bajas para lanzar sus vehículos espaciales. Por ejemplo, después de abandonar un intento de lanzar un vehículo derivado de *Soyuz* desde el sitio de lanzamiento de la Isla de Navidad de baja latitud en Australia, el gobierno ruso se centró en el Centro Espacial de Guayana en América del Sur, donde comenzó la construcción de una plataforma de lanzamiento compatible con *Soyuz* en 2005 y lanzado por primera vez en 2011. No en vano, dos tercios de todos los lanzamientos globales de GEO han sido apoyados en los últimos 10 años, por puertos espaciales en latitudes de 30° y menos (Roberts, 2019).

Por consiguiente, la geografía y la física conspiraron para ubicar los primeros puertos espaciales de la humanidad en latitudes medias y en áreas tan cerca del ecuador como fuese posible. Debido a la rotación de la Tierra sobre su eje, la superficie terrestre se mueve más rápido cuanto más cerca se esté del ecuador; esto significaría que los lanzamientos ecuatoriales dejan al planeta con más empuje, lo que los hace más eficientes. En consecuencia, ubicar centros de lanzamiento en Colombia se justifica por su relación intrínseca con la eficiencia orbital⁷². Empero, si los puertos espaciales se ubicasen teniendo en cuenta solo factores geográficos, todos se localizarían en el ecuador, con zonas seguras de caída al este y en regiones protegidas de condiciones climáticas desfavorables. Pero, por supuesto, los puertos espaciales están ubicados en todo el mundo, lo que sugiere que los factores geográficos son solo una parte del proceso para determinar dónde se ubicará un puerto espacial. Para los programas espaciales patrocinados por el Estado, uno de los factores más importantes al elegir dónde construir un puerto espacial es la accesibilidad; así mismo, algunos operadores de puertos espaciales esperarían que los lanzamientos puedan llamar la atención del público, tal vez generando apoyo nacional para el programa espacial o para avanzar en la competencia internacional entre los Estados que viajan al espacio.

Pero de acuerdo con Dolman (1999), los requisitos para que un Estado logre convertirse en un actor astropolítico, también incluirían otras consideraciones: 1) el Estado debería ser lo suficientemente grande en términos territoriales para incorporar una amplia base de recursos naturales e industriales y contar con los sitios necesarios para el apoyo del espacio terrestre; 2) también debería ser lo suficientemente grande en términos de población para soportar el gasto extremo de los esfuerzos espaciales, a través de los impuestos y, 3) debe contar con un recurso humano calificado que provea el conocimiento y los servicios de alta tecnología que son necesarios para apoyar las operaciones espaciales. Pues bien, Colombia es el 25vo país mas grande del mundo, ya que tiene una superficie terrestre y marítima combinada de 2.070.408 kilómetros cuadrados y una cantidad considerable de recursos naturales. Es la cuarta economía de América Latina y el tercero en población, después de Brasil y México; además, su recurso humano es uno de los mejores calificados de la región. Es decir, cuenta con los recursos humanos y materiales suficientes para convertirse en un Estado astropolítico; solo haría falta la voluntad política.

72. Los cohetes *Arian* de la ESA no se construyen en el centro espacial de la Guyana; unas partes se envían en barco y otras por vía aérea desde Europa y se ensamblan allí. Por ende, al menos en una primera etapa, no es necesario que Colombia construya cohetes; un primer paso de cara a una participación más activa en el espacio exterior sería ofrecer servicios de lanzamiento.

4.2 Segunda región astropolítica: el espacio terrestre

Desde la órbita viable mas baja de la Tierra hasta un poco más allá de la altitud geoestacionaria (unos 36.000 kilómetros), se encuentra el "espacio terrestre". Esta segunda región astropolítica es el área de funcionamiento de los satélites artificiales y de la Estación Espacial Internacional (EEI), así como de todas las armas espaciales basadas actualmente en el espacio y aquellas previstas hacia el futuro. En su límite inferior es donde se pos-impulsa el vuelo de los misiles balísticos de largo alcance, y en su extremo opuesto, se encuentra el valiosísimo cinturón geoestacionario. El valor geoestratégico de esta región reside en el hecho de que es allí en donde se ubican los satélites artificiales que orbitan sobre la humanidad, administrando silenciosamente sistemas básicos que ayudan a los Estados a ser más seguros y productivos.

Por ejemplo, su tecnología de entretenimiento y comunicación controla la televisión, los teléfonos y los sistemas de navegación (GPS) utilizados por millones en todo el mundo. Además, muchas transacciones comerciales y financieras utilizan transmisiones satelitales para comprar artículos y servicios y realizar procesos de gestión. Los satélites también desempeñan un papel fundamental en las actividades científicas sensibles al tiempo, como el monitoreo del clima a escala global y la medición de los cambios ambientales, además de proporcionar información valiosa en situaciones de emergencia; del mismo modo, los satélites brindan acceso a educación y experiencia médica, principalmente en los países en desarrollo. Y no menos importante, los servicios satélites apoyan las operaciones militares, mediante la vigilancia, navegación y las comunicaciones seguras.

Cualquier objeto colocado en una órbita estable (a una distancia suficiente del objeto en órbita y con la velocidad del satélite igual a la fuerza de gravedad) debería, en teoría, poder orbitar ese objeto indefinidamente sin la necesidad consumir energía adicional (Chun, 2006). Esta es la razón por la cual el movimiento orbital constituye un tipo preferido de movimiento en el espacio exterior. No debe olvidarse que los cuerpos celestes están orbitando entre sí; la Luna gira alrededor de la Tierra, que gira alrededor del Sol, que gira alrededor del núcleo de la Vía Láctea. Por ende, las órbitas terrestres son recursos naturales, ya que, según Álvarez, Moreno y Gómez (2017b, p. 388):

Un recurso natural sería un bien físico que ofrece la naturaleza, como, por ejemplo, el agua dulce de los ríos, la fauna silvestre o el bosque natural. Asimismo, se consideraría como recurso natural las funciones o servicios de la naturaleza que la socie-

dad utiliza según sus demandas, como, por ejemplo, la regulación que un bosque proporciona a una cuenca fluvial, evitando su sedimentación; ese carácter regulador de un bosque sería también un recurso natural y no solamente la madera que se obtuviese de él (...). Por lo tanto, un recurso natural sería todo lo que proviene de la naturaleza y que el hombre puede utilizar para satisfacer sus necesidades.

Incluso por su demanda y valor estratégico, que conduce a que estén cada vez más saturadas, las órbitas terrestres serían también un recurso natural estratégico. En efecto, Álvarez, et al. (2017b, p. 388) definen un recurso natural estratégico como "todo recurso natural escaso que actual o potencialmente es vital para el desarrollo de la actividad económica o para el mantenimiento de la calidad de vida de un país". Por tanto, en este espacio terrestre lleno de "recursos naturales estratégicos", los satélites artificiales se ubican típicamente en tres regímenes orbitales (figura 17): órbita terrestre baja (LEO), órbita terrestre media (MEO) y órbita geosíncrona (GEO); estos son los activos astroestratégicos más importantes del espacio terrestre.

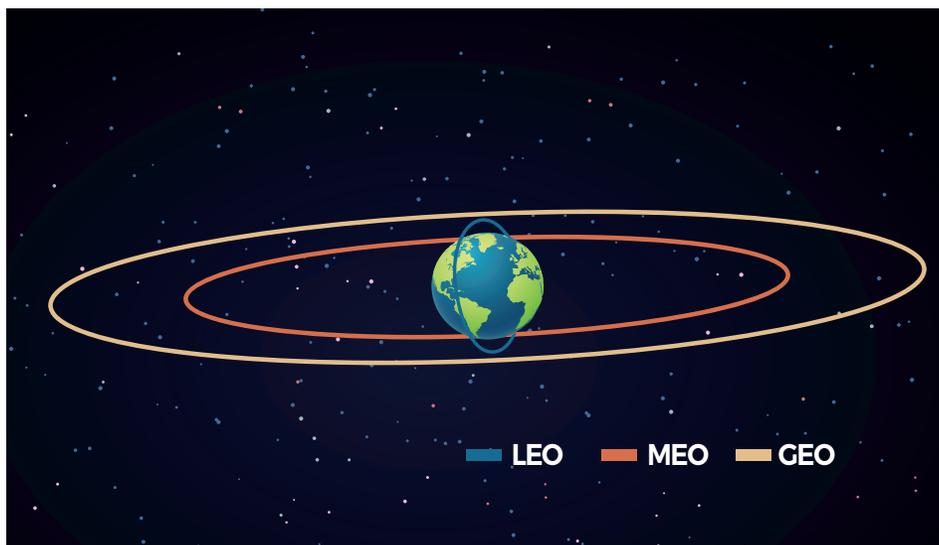


Figura 17. Principales órbitas del espacio terrestre
Fuente: adaptado de Harrison, et al. (2019)

4.2.1 Órbita Terrestre Baja (LEO).

La mayoría de los satélites que orbitan alrededor de la Tierra lo hacen a altitudes entre 160 y 2.000 kilómetros, ya que el 55% de todos los satélites operativos están en LEO. En esta órbita, los satélites suelen tardar entre 90 minutos y dos horas en comple-

tar una órbita completa alrededor de la Tierra (Bate, 2000). Las bajas altitudes en combinación con cortos periodos orbitales hacen que los satélites LEO estén idealmente ubicados para misiones de teledetección, incluida la observación y el reconocimiento de la Tierra. Con la excepción de las misiones *Apolo*, toda la actividad espacial con presencia humana también ha ocurrido en LEO, como la EEI que se ubica a una altitud promedio de unos 350 kilómetros.

Los sistemas satelitales LEO se utilizan principalmente para las comunicaciones de datos⁷³. Orbitan la Tierra a velocidades extremadamente altas (una órbita completa demora aproximadamente 90 minutos) y no están fijos en el espacio en relación con la Tierra. Los satélites LEO tienen vidas muy cortas debido a la fuerza gravitacional más fuerte de la Tierra, y las naves espaciales necesitarían algún tipo de método de propulsión para aumentar su velocidad antes de que su órbita decaiga. Se puede usar cualquier tipo de vehículo de lanzamiento para lanzar satélites a esta órbita. Algunos satélites LEO orbitan de tal manera que pasan (o casi pasan) los dos polos de la Tierra durante la órbita; esta orientación altamente inclinada a baja altitud se llama órbita polar. Debido a la rotación de la Tierra, los satélites en órbita polar pasan sobre una franja vertical diferente de la superficie del planeta en cada revolución (figura 18). Usando un régimen orbital polar, un solo satélite podría observar cada punto de la Tierra dos veces en un día de 24 horas.

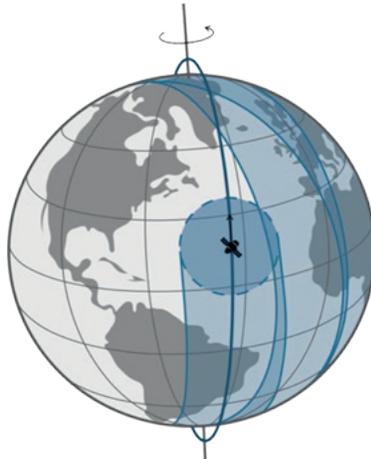


Figura 18. Órbita polar en LEO
Fuente: adaptado de Harrison, et al. (2019)

73. Así mismo, la mayoría de los satélites con aplicaciones científicas, incluido el Convoy del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA, viajan en una órbita LEO.

La órbita polar sincronizada con el Sol es una de las más importantes para el reconocimiento militar y las imágenes meteorológicas. Si se coloca en un movimiento ligeramente de grado retro (mayor de 90° de inclinación), esta configuración permite que los satélites eventualmente vuelen sobre cada punto de la Tierra y permanezcan a la luz del Sol en todo momento, extremadamente importante para las cámaras de satélite que toman imágenes en el espectro de luz visible y para satélites que requieren acceso solar continuo para obtener energía. Aunque un solo satélite en órbita polar puede observar eventualmente cada punto de la superficie de la Tierra, no puede crear una instantánea de ella; es decir, una imagen compuesta de cada pulgada de la superficie del planeta en un solo momento. Dicha capacidad solo puede completarse en órbita terrestre baja mediante una gran colección de satélites o una constelación de satélites. Las constelaciones satelitales se pueden utilizar para comunicaciones personales, alerta temprana de misiles y sistemas de armas espaciales; por ejemplo, la constelación de satélites *Iridium* inicialmente desplegó una red de 66 satélites a 780 kilómetros de altitud para garantizar que al menos un satélite estuviese siempre a la vista (figura 19). El sistema ofrecía comunicaciones y posicionamiento global de última generación, pero la empresa finalmente fracasó no debido a problemas técnicos, sino a fallas de mercado.

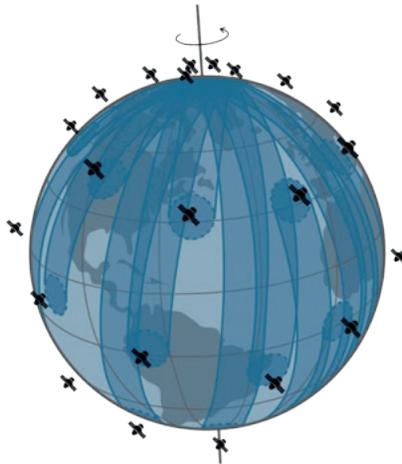


Figura 19. Constelaciones satelitales
Fuente: adaptado de Harrison, et al. (2019)

En definitiva, cuanto más cerca de la Tierra, más satélites son necesarios para proporcionar una cobertura continua. Los satélites militares en LEO son típicamente satélites de reconocimiento que pueden distinguir los tanques desde una distancia de menos

de 200 kilómetros sobre la Tierra (Dawson, 2018). En consecuencia, es bastante razonable aceptar una cobertura no continua o puntual de áreas de alto interés de forma recurrente. Esta es la función de los satélites de imágenes con calidad de inteligencia; estas naves espaciales pueden tomar imágenes de mayor detalle cuanto más cerca estén del objetivo. Sin embargo, cuanto más detallada es la imagen, menor es la cobertura del área; por ejemplo, tomar una fotografía tan detallada como para distinguir los rasgos faciales de una persona desde una altitud de 145 kilómetros, obligaría a que el campo de visión solo sería de unos pocos metros, en el mejor de los casos. Por ende, cuanto mayor es el detalle, menor es el campo de visión.

4.2.2 Órbita Terrestre Media (MEO).

Aunque más del 90% de todos los satélites están situados en LEO (menos de 2.000 kilómetros) y GEO (cerca de 36.000 kilómetros), el espacio entre los dos regímenes orbitales puede ser un entorno ideal para un subconjunto más pequeño de sistemas de satélites. Los satélites de MEO (entre 2.000 a 35.780 kilómetros de altitud), incluyen satélites de navegación y otros satélites especiales destinados a vigilar o enfocar las comunicaciones sobre una región específica en la superficie de la Tierra; tienen huellas más grandes que los satélites LEO (lo que significa que pueden ver más superficie de la Tierra a la vez), así como tiempos de transmisión más bajos que los satélites GEO (lo que significa que tienen un retraso de señal más corto porque no están tan lejos). No obstante, una de las razones por la que hay menos satélites en MEO, que, en LEO o GEO, es la presencia de los cinturones Van Allen; dos regiones en forma de rosquilla que rodean la Tierra, centradas en su eje polar, donde el campo magnético de la Tierra atrapa partículas cargadas de los vientos solares y los rayos cósmicos, que pueden dañar los sistemas electrónicos a bordo de los satélites. Los entornos de alta radiación también pueden dañar los paneles solares que convierten la energía en electricidad para alimentar satélites después de que hayan alcanzado su órbita deseada. El cinturón interior se extiende desde aproximadamente 500 kilómetros hasta 5.500 kilómetros en el ecuador, y el cinturón exterior se extiende desde 12.000 kilómetros hasta 22.000 kilómetros (Doboš, 2019). Es por ello que los satélites en estas regiones deben equiparse con blindaje para reducir el riesgo de daños durante su vida útil operativa.

Aunque muchas de las órbitas discutidas anteriormente asumen una trayectoria circular o casi circular alrededor de la Tierra, algunos satélites están situados de tal manera que orbitan la Tierra en una trayectoria elíptica oblonga, llamada órbita altamente elíptica (HEO). Mientras que un satélite en una órbita circular inclinada pasa la

misma cantidad de tiempo en los hemisferios norte y sur, el satélite en HEO inclinada gasta una porción significativamente mayor de su órbita sobre un hemisferio que en el otro (figura 20), debido a la segunda ley de movimiento planetario de Kepler.

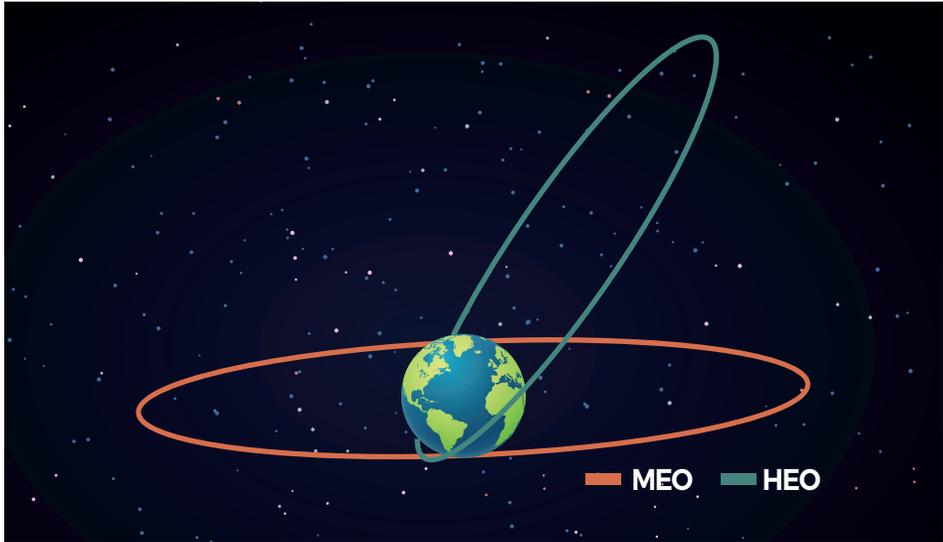


Figura 20. Órbitas MEO y HEO
Fuente: adaptado de Harrison, et al. (2019)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es una constelación de 24 satélites, con cada satélite en MEO circular con una altitud de aproximadamente 20.000 kilómetros. La constelación está orientada de tal manera que, en cualquier momento dado, cada punto de la Tierra tendrá acceso a cuatro satélites GPS. Un ejemplo de una órbita altamente elíptica es una órbita de Molniya; estas órbitas tienen una inclinación de 63.4° , un apogeo de aproximadamente 40.000 kilómetros y un perigeo de aproximadamente 1.000 kilómetros (Doboš, 2019). Molyniya era un sistema satelital de comunicaciones militares utilizado por la Unión Soviética que orbitaba en esta zona. Los ingenieros rusos querían usar una órbita que consumiera menos energía y fuera más adecuada para las comunicaciones que la órbita geoestacionaria favorecida por los Estados Unidos. Como una órbita geoestacionaria está estacionada sobre el ecuador, que no permite la vigilancia en más áreas del norte o sur de interés, los astroestrategas rusos sugirieron una elipse alargada cuyo apogeo (o el punto más alto), estaría sobre el hemisferio norte, proporcionando una visión casi ininterrumpida del territorio ruso. Dado que tanto Estados Unidos como Rusia se encuentran en el hemisferio norte, las órbitas de Molniya fueron ideales para el reconocimiento en la Guerra

Fría, ya que, durante la mayoría de sus periodos, los satélites en la órbita de Molniya observan principalmente el hemisferio norte de la Tierra (Dawson, 2017).

4.2.3 Órbita Terrestre Geosincrónica (GEO).

El periodo orbital de un satélite (tiempo que tarda en orbitar la Tierra una vez), depende de su altitud orbital. Los satélites en LEO, como la EEI, tardan unos 90 minutos en orbitar la Tierra; los satélites en MEO tardan aproximadamente 12 horas en hacer lo mismo. Sin embargo, los satélites que orbitan a una altura de 35.786 kilómetros tienen un periodo exactamente igual a un día terrestre. Los satélites en esta órbita, conocida como órbita terrestre geosíncrona (GEO), observan la Tierra como si no estuvieran girando; debido a esta propiedad, los satélites en GEO están constantemente en el campo de visión de aproximadamente un tercio de la superficie del planeta. Por ello, y mientras que alrededor del 55% de todos los satélites operativos están en LEO, otro 35% está en GEO, lo que lo convierte en el segundo régimen orbital más popular.

La mayoría de las redes de comunicaciones de video y televisión utilizan satélites geoestacionarios, ubicados por encima de un punto en el ecuador de la Tierra y demoran 24 horas en completar una rotación. Este tipo de satélite orbita a la misma velocidad que gira la Tierra, manteniéndola estacionaria sobre un único punto longitudinal. Cuanto más lejos esté la órbita de un satélite de la superficie de la Tierra, más lenta se desplazará la nave espacial y más estable será su órbita en términos de longevidad. Los satélites meteorológicos a menudo se colocan en órbitas sincrónicas solares, donde su orientación es estacionaria en relación con el Sol durante todo el año, haciendo posible precisas predicciones meteorológicas. La mayoría de los satélites en GEO no tienen inclinación, lo que significa que orbitan directamente sobre el ecuador de la Tierra⁷⁴.

Los satélites con estas propiedades se denominan geoestacionarios, ya que desde cualquier punto de la Tierra aparecen exactamente en el mismo punto del cielo en cualquier momento dado; los satélites geoestacionarios son populares para las comunicaciones y la radiodifusión. Empero, la órbita geoestacionaria (con una longitud de 263.957 kilómetros), está significativamente más lejos de la Tierra que LEO o MEO; mientras que, para los satélites ubicados en LEO, el tiempo que tarda una señal en transmitirse desde el suelo a un satélite y viceversa es de aproximadamente 0.003 segundos, para un satélite en GEO, ese retraso aumenta a 0.25 segundos, lo que requiere control

74. La mayoría de los satélites orbitan en la misma dirección que la rotación de la Tierra. Y debido a las irregularidades en el campo gravitacional del planeta, los satélites orbitan alrededor del preceso de la Tierra con el tiempo, lo que significa que el plano orbital gira lentamente alrededor de uno de sus ejes. Cuando la precesión de una órbita satelital se alinea con la rotación de la Tierra alrededor del Sol, el satélite está en órbita heliosíncrona (SSO). Cuando los satélites en SSO pasan sobre un punto dado en la Tierra, lo observan a la misma hora local en cada órbita; tales condiciones son ideales para los sistemas de imágenes de la Tierra. Algunos SSO están orientados de tal manera que los paneles solares del satélite están constantemente orientados hacia el Sol, lo que disminuye su dependencia de las baterías a bordo. Los satélites en SSO también pueden estar en LEO o MEO.

de eco y consideraciones de retraso de tiempo que son más insignificantes para las órbitas de menor altitud (Doboš, 2019). Algunos ejemplos de satélites en GEO incluyen los satélites de comunicaciones *Intelsat* y los satélites de transmisión directa *DISH Network*.

La órbita semisíncrona es casi circular, a 20.277 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Un satélite a esta altitud tarda 12 horas en dar la vuelta al globo, por lo que, en 24 horas, el satélite en la órbita semisíncrona atraviesa diariamente las mismas dos ubicaciones en el ecuador. Esta es la órbita más utilizada por los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), una red de satélites de navegación compuesta por al menos 24 satélites. A principios de la década de 1970, el Departamento de Defensa de Estados Unidos quería un sistema de navegación por satélite estable y resistente para uso militar, para lo que lanzaría su primer sistema de navegación con el satélite *Timing and Ranging* (NAVSTAR) en 1978, disponible para uso civil en la década de 1980. No obstante, el sistema entró en pleno funcionamiento en 1993. Hoy, su legado es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el cual se ha convertido en un sistema de navegación por radio de usos múltiples, propiedad del gobierno de Estados Unidos y operado por la Fuerza Aérea de dicho Estado (Dawson, 2018). Su propósito es ayudar en la seguridad y defensa nacional, junto con las necesidades domésticas, comerciales y científicas.

La diferencia clave entre los satélites geoestacionarios y geosíncronos es que éstos últimos tienen una inclinación diferente a los de la órbita geoestacionaria (figura 21). Cuando los satélites geoestacionarios se acercan al final de su esperanza de vida, el protocolo establece que deben maniobrarse a una altitud ligeramente diferente para dejar espacio a un nuevo satélite a fin de reemplazar esa ranura, ya que hay ubicaciones específicas en esa órbita que garantizan que los satélites funcionen sin interferencias.

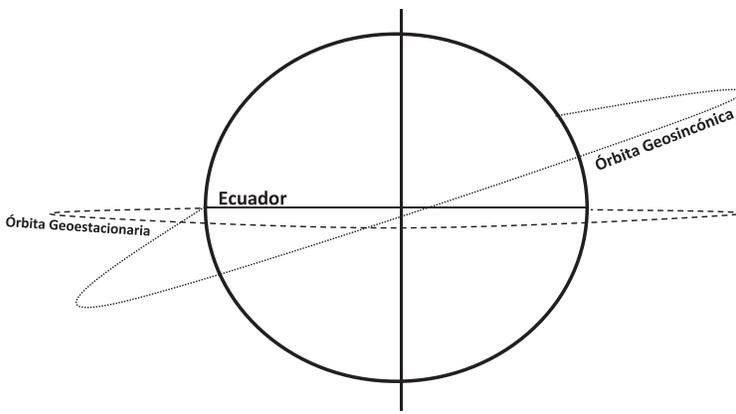


Figura 21. Órbitas geoestacionaria y geosíncrona
Fuente: elaboración propia

En conclusión, los primeros 150 a 2.000 kilómetros sobre la superficie de la Tierra son especialmente útiles para la observación de la Tierra y las misiones de vuelo tripulado; estas órbitas también permiten el uso de cohetes más baratos y menos sofisticados. Las órbitas entre 2.000 a 35.000 kilómetros se usan típicamente para redes satelitales vinculadas de telecomunicaciones y navegación. Las de 35.000 kilómetros son ideales para comunicaciones globales y satélites meteorológicos, ya que los satélites orbitan la Tierra solo una vez al día y la cobertura combinada de tres satélites proporciona un acceso estable y continuo.

Las funciones específicas de diferentes espacios orbitales tienen una importancia crucial para fines civiles, gubernamentales y militares. Como regla física, las órbitas con mayores altitudes en el espacio son más estables, y los cuerpos en órbita parecen viajar más lentamente en relación con los cuerpos que orbitan en altitudes más bajas. Sin embargo, esto no significa necesariamente que las órbitas más altas sean más deseables, ya que mientras las órbitas más altas son ventajosas para vistas de campo más amplias, las órbitas más bajas proporcionan vistas de primer plano y detalladas de la Tierra, ayudando al mantenimiento de enlaces de comunicaciones concentrados de baja difusión. Las órbitas circulares o de altitud constante son las más adecuadas para misiones continuas, como aquellas llevadas a cabo por la EEI, y las órbitas excéntricas son mejores para misiones que requieren conducta en puntos críticos de la órbita.

De este modo, los vastos recursos orbitales del espacio terrestre representan el equivalente del heartland del modelo astropolítico; por consiguiente, el control de esta segunda región astropolítica no solo garantiza el control a largo plazo de los confines exteriores del espacio, sino que proporciona una ventaja estratégica en el campo de batalla terrestre. Desde la alerta temprana y la detección de movimientos de misiles y fuerzas militares, hasta la planificación de objetivos y la evaluación de daños de batalla, los activos de recolección de inteligencia basados en el espacio ya han demostrado ser legítimos multiplicadores de fuerzas de combate⁷⁵ (Dolman, 2005). Por ello, la mayoría de los Estados industrialmente avanzados reconocen en la actualidad el poder espacial militar como la cúspide de la seguridad multidimensional, y han dejado de lado las objeciones de larga data a los programas espaciales militares, mientras persiguen con entusiasmo sus propias infraestructuras espaciales.

Con base en lo anterior, el **segundo imperativo astropolítico** de Colombia sería *extenderse al espacio terrestre, buscando satisfacer los requerimientos de la seguridad multidimensional del país*. La astroestrategia para lograrlo es simple, aunque no sencilla:

75. Sin embargo, las contribuciones más sorprendentes a las fuerzas militares han sido los satélites de navegación, comunicaciones y predicción meteorológica.

ocupar con satelitales de observación y comunicación las órbitas LEO y GEO. De las dos clases de órbita, urge situar un satélite en la órbita geoestacionaria, ya que su valor estratégico radica en que es el único lugar en el espacio terrestre en el que se pueden colocar satélites de cobertura y global larga duración; es por ello por lo que sus posiciones orbitales (slots) son de alto valor socioeconómico, político, militar y cultural, particularmente por la explotación del espectro electromagnético, en sus frecuencias inferiores a 3.000 GHz (longitudes de onda superior a los 100 micrones). De acuerdo con Rodríguez (2006, p. 57), "el recurso órbita espectro es un depósito de valores de las telecomunicaciones, así como los recursos petrolíferos son depósitos de valores hidrocarburos".

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) lo reconoce como un recurso natural limitado, con base en el restringido número de satélites que se pueden colocar allí. Por último, satisfacer el segundo imperativo astropolítico con una presencia satelital en la órbita geoestacionaria lograría cumplir una tarea pendiente de ejercicio de la soberanía territorial de Colombia (figura 22).

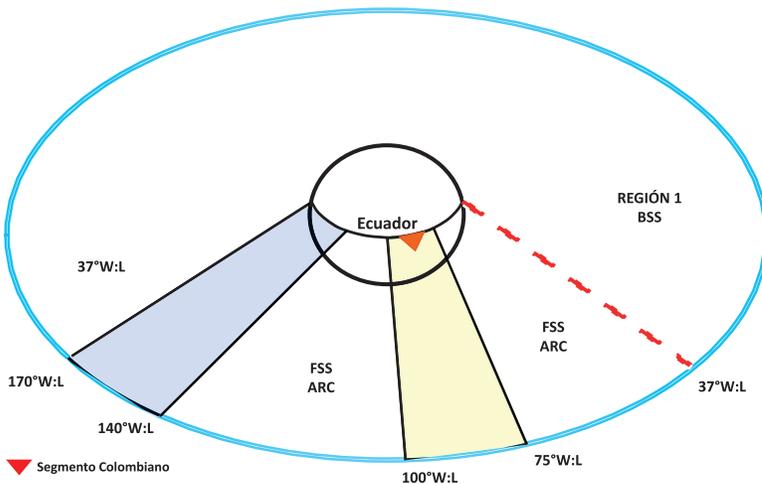


Figura 22. Arco orbital geosincrónico
Fuente: adaptada de Rodríguez (2006)

En efecto, Colombia protocolizó constitucionalmente derechos especiales de soberanía sobre el segmento suprayacente de la órbita, correspondiente a la longitud del ecuador terrestre entre los 70 y 75 grados al oeste de Greenwich (aproximadamente)⁷⁶:

76. Sus coordenadas son 70°04'38" oeste (aprox.) - 75°45'15" oeste (aprox.). Tiene una longitud de arco de 631 kilómetros. El arco sobre la órbita geoestacionaria en grados es de 54°0'37". la longitud de arco geoestacionario en kilómetros es de 4.171,36 y el porcentaje del segmento sobre el total de la órbita geoestacionaria es de 1.57% (Rodríguez, 2006).

Artículo 101°. Los límites de Colombia son los establecidos en los tratados internacionales aprobados por el Congreso, debidamente ratificados por el Presidente de la República, y los definidos por los laudos arbitrales en que sea parte la Nación. Los límites señalados en la forma prevista por esta Constitución sólo podrán modificarse en virtud de tratados aprobados por el Congreso, debidamente ratificados por el Presidente de la República. Forman parte de Colombia, además del territorio continental, el archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina e isla de Malpelo, además de las islas, islotes, cayos, morros y bancos que le pertenecen. También son parte de Colombia, el subsuelo, el mar territorial, la zona contigua, la plataforma continental, la zona económica exclusiva, el espacio aéreo, el segmento de la órbita geoestacionaria, el espectro electromagnético y el espacio donde actúa, de conformidad con el derecho internacional o con las leyes colombianas a falta de normas internacionales (Asamblea Nacional Constituyente, 1991)

La moderna proyección del poder solo es posible mediante el despliegue y el uso de activos basados en el espacio. Las fuerzas aéreas, terrestres y marítimas dependen de los satélites para comunicaciones, navegación e inteligencia; sin ellos, la capacidad cualquier fuerza militar se vería seriamente comprometida. Por ello es esencial que Colombia cuente con sus propios satélites, tanto para salvaguardar la seguridad e integridad del territorio y su población, como también para garantizar que la economía colombiana no se quede rezagada de las dinámicas internacionales altamente dependientes de las aplicaciones espaciales. Por ello, es en la órbita geoestacionaria en donde la mayoría de los intereses deberían encontrarse en materia de una política espacial colombiana.

4.3 Tercera región astropolítica: el espacio lunar

Es la región entre la órbita geoestacionaria a un poco más allá de la órbita lunar. En dicha región se encuentra el cuerpo celeste más cercano a la Tierra, y su presencia y proximidad juegan un papel muy importante para las condiciones naturales de la primera y segunda región astropolítica. En efecto, el tirón gravitacional de la Luna estabiliza la oscilación de la Tierra sobre su eje, lo que permite un clima estable; además, las mareas en los océanos de la Tierra ocurren debido también a la atracción gravitacional de la Luna⁷⁷.

La órbita de la Luna alrededor de la Tierra es elíptica; en el perigeo (su aproximación más cercana), la Luna se acerca a 363.104 kilómetros de la Tierra, mientras que en el

⁷⁷ La Luna es una influencia importante en las mareas de la Tierra, pero el Sol también genera considerables fuerzas de marea; las mareas solares son aproximadamente la mitad de grandes que las mareas lunares.

apogeo (la más alejada), está a 405.696 kilómetros de la Tierra.

La Luna está en rotación sincrónica con la Tierra, por lo que gira sobre su eje en aproximadamente la misma cantidad de tiempo que tarda en girar alrededor de la Tierra (27 días, 8 horas), es decir, un mes sideral. Un mes lunar, también llamado mes sinódico, es el tiempo que tarda la Luna en completar un ciclo lunar (Luna llena a Luna llena); éste es de aproximadamente 29 días y 13 horas. Hoy, la Luna se aleja de la Tierra a una relación de aproximadamente cuatro centímetros por año, por lo que estaría 18 veces más lejos desde cuando se formó hace 4.500 millones de años. Este alejamiento se debe a que la fricción entre la superficie de la Tierra y la enorme masa de agua que está sobre ella hace que, con el tiempo, la Tierra gire un poco más lentamente sobre su eje.

Por cada acción hay una reacción igual y contraria; esta es la tercera ley de Newton. Como la Tierra y la Luna están unidas gravitacionalmente, entonces, a medida que el movimiento de la Tierra se ralentiza, se acelera el de la Luna; y, cuando algo que está en órbita se acelera, esta aceleración lo empuja hacia afuera. El que la Luna se aleje afecta a la Tierra de varias maneras. Por empezar, a medida que la Tierra gira más lentamente, los días se tornan más largos (a razón de dos milisegundos cada cien años); por otra parte, los inviernos serán mucho más fríos y los veranos mucho más cálidos. Y si la fuerza de gravedad de la Luna se torna más leve, las mareas en la Tierra ya no serán tan marcadas. No obstante, la Luna nunca se escapará de la Tierra; incluso, si la Tierra continuara ralentizándose, girará a la misma velocidad a la que orbita la Luna⁷⁸. Pero, mucho antes de que esto ocurra, el Sol se expandirá hasta convertirse en un gigante rojo y se tragará en el proceso a la Tierra y su satélite.

En promedio, la distancia de la Tierra a la Luna es de aproximadamente 384.400 kilómetros, lo que significa que 30 planetas del tamaño de la Tierra podrían caber entre ambas. Una variedad de factores determina cuánto tiempo se tarda en llegar a la Luna, ya que las misiones tripuladas, por ejemplo, tienden a tomar más tiempo que los satélites sin pasajeros; además, si un objeto se detiene o no en la Luna también entra dentro de las consideraciones. La Unión Soviética lanzó la primera misión a la Luna en 1959, con la sonda *Luna 1*; sin un sistema de propulsión, este satélite sólo tomó 34 horas de vuelo para hacer el viaje, por lo que sigue siendo uno de los viajes más rápidos a la Luna⁷⁹. La NASA envió ocho misiones tripuladas de *Apolo* a la Luna, seis de las cuales aterrizaron con éxito. *Apolo 8* fue la primera misión en orbitar otro cuerpo y el infame desastre del *Apolo 13* solo resultó en un viaje alrededor de la

78. En dicho momento, la Tierra y la Luna llegarán a un equilibrio y la Luna dejará de alejarse.

79. Después de su sobrevuelo, el satélite entró en órbita alrededor del Sol, entre las órbitas de la Tierra y Marte.

Luna; cada uno pasó unos tres días viajando por el espacio. *Apolo 8* tardó 69 horas y 8 minutos en entrar en órbita alrededor de la Luna, mientras que el famoso viaje del *Apolo 11* tardó 75 horas y 56 minutos en entrar en órbita alrededor de la Luna. Sin embargo, mucho antes de que entraran en órbita, ambas naves espaciales entraron en la esfera de influencia de la Luna, una región a 62.630 km de la Luna. Para el *Apolo 11*, esto ocurrió después de 61 horas y 56 minutos, mientras que para el *Apolo 8* solo tomó 55 horas y 40 minutos.

En 2003, la ESA lanzó *Smart-1* (la primera nave espacial europea exitosa a la Luna), pero en lugar de recorrer un camino directo, giró en espiral alrededor de la Tierra para llegar a la Luna, llegando más de un año después del lanzamiento. En lugar de propulsor, *Smart-1* hizo el primer uso de un motor de iones, en combinación con maniobras de asistencia por gravedad, lo que lo hizo extremadamente eficiente en cuanto al consumo de combustible⁸⁰. Pero el viaje más rápido a la Luna fue el de la sonda *New Horizons*, que pasó por la Luna en 2006 en solo ocho horas y 35 minutos; la nave espacial ni siquiera se desaceleró ni se acercó a la órbita lunar, sino que se dirigió rápidamente hacia Plutón.

4.3.1 Astrografía de la Luna.

El material con el que se creó la Luna probablemente fue parte del mismo cuerpo que ahora es la Tierra. La teoría más destacada de la creación lunar, llamada Theia, propone que, durante el proceso de creación del Sistema Solar, la Tierra fue golpeada por un cuerpo del tamaño de Marte que se formó en los puntos cuatro o cinco de Lagrange del sistema Tierra-Sol. A lo largo del tiempo, este cuerpo se volvió lo suficientemente masivo como para escapar del punto de libración (los efectos gravitacionales ya no podían mantenerlo en una posición estable), golpeando la proto-Tierra y provocando una colisión masiva que expulsó el material que luego formó la Luna. Es debido a eso que Crofts (2014) llama a la Luna el "continente inexplorado de la Tierra" (p. 9).

La masa de la Luna es 73 millones de trillones de toneladas aproximadamente, es decir, 50 veces la masa de los océanos de la Tierra, pero solo el 1.2% de la masa de la Tierra en su conjunto (Morton, 2019). Si se rebanara la Tierra directamente a 55° S (el paralelo que pasa por el extremo sur de América del Sur), la tapa del extremo de un "huevo" que se cortaría a 840 kilómetros de profundidad y 7.000 kilómetros de ancho, tendría aproximadamente la misma masa que la Luna. Eso es menor que la masa de cualquiera de los planetas del Sistema Solar (es una décima parte de la masa

⁸⁰. El camino extendido proporcionó una visión significativa del sistema Tierra-Luna.

de Marte), así como de tres de las cuatro lunas galileanas de Júpiter (Ganímedes, lo y Calisto)⁸¹, y de Titán (la luna más grande de Saturno); pero esas lunas representan solo una pequeña fracción de la masa de los poderosos planetas que orbitan (aproximadamente cinco milésimas), en comparación con la octava parte de la Luna de la Tierra.

Al menos el 95% de la masa de la Luna es roca, siendo más de cinco veces la masa del planeta enano Plutón y unas 25 veces la masa de todos los asteroides en el cinturón de asteroides juntos. Una pequeña cantidad de la masa rocosa de la Luna forma una costra, que tiene un grosor de unos 40 kilómetros en promedio; el resto forma un manto subyacente. El núcleo de hierro de la Luna (si es que tiene uno), sería menos de una vigésima parte de la masa de toda esa roca. El núcleo no tendría más de 300 kilómetros de ancho y es, sobre todo, quizás completamente sólido; a diferencia del núcleo de hierro de la Tierra, que representa el 30% de la masa del planeta y está mayormente fundido. Cualquier núcleo que tenga la Luna no produce nada perceptible por medio de un campo magnético y, para casi todos los propósitos prácticos, la Luna no tiene atmósfera en absoluto.

Un día lunar (periodo de una rotación completa del cuerpo alrededor de su eje), dura 27,3 días terrestres. En consecuencia, la mayoría de los lugares en su superficie están expuestos la mitad del tiempo a la sombra y la otra mitad a la luz solar directa. Por ello, La Luna tiene una gran variabilidad térmica: si durante el día una gran parte de su superficie puede alcanzar los 104° C, durante la noche la temperatura se desploma; como al interior de algunos cráteres lunares nunca llega la luz solar, permanecen en una eterna oscuridad y jamás suben de los -240° C⁸². Sin embargo, la Luna no tiene diferencias significativas entre las estaciones, por lo que los polos lunares albergan áreas permanentemente sombreadas (APA), con temperaturas cercanas al cero absoluto y regiones iluminadas permanentemente (Crotts 2014).

La superficie lunar es de 37,9 millones de kilómetros cuadrados, aproximadamente una cuarta parte de la superficie de los continentes de la Tierra (Rukl, 2004). Eso la hace más pequeña que Asia, un poco más grande que África y significativamente más grande que todos los demás.

Un túnel recto entre los polos de la Luna tendría una longitud de 2,474 kilómetros, una distancia similar que un túnel desde Bogotá a Lima (Perú). Una carretera alrededor del ecuador lunar tendría 10.921 kilómetros de largo, equivalente a conducir des-

81. Europa es la cuarta luna galileana de Júpiter. Estas cuatro lunas son llamadas galileanas porque fueron vistas por primera vez en 1610 por el astrónomo Galileo Galilei. Júpiter tiene por lo menos 79 lunas conocidas.

82. En estos cráteres se han encontrado bloques de hielo de cientos de millones de años, que podrían utilizarse no sólo como fuente de agua, sino también de hidrógeno y oxígeno.

de Bogotá a Moscú. Alrededor del 17% de su superficie está compuesta de llanuras oscuras llamadas *maria*: el plural de *mare*, que en latín significa “mar”⁸³; casi todas estas llanuras están en el lado visible a la Tierra⁸⁴.

La más grande, en el oeste, es *Oceanus Procellarum*, el “océano de las tormentas”; es la mitad del tamaño del desierto del Sahara. Arriba se encuentra *Mare Imbrium*, que cubre unos dos millones de kilómetros cuadrados, un área aproximada del tamaño marítimo y continental de Colombia.

Al este de *Imbrium* se encuentra *Mare Serenitatis*, del tamaño de Texas, que cede directamente al *Mare Tranquillitatis*, un poco más grande del tamaño de la superficie terrestre de Colombia. Otras dos ramas de *maria* menos circulares frente a *Tranquillitatis* son el *Mare Nectaris* y *Mare Fecunditatis*. *Mare Crisium*, el “mar de las crisis”, se encuentra al norte de dos últimas llanuras (figura 23). Existen, sin embargo, gigantescos cráteres o circos lunares mayores que los del otro hemisferio, pudiéndose encontrar algunos como *Apolo*, de hasta 520 km de diámetro.

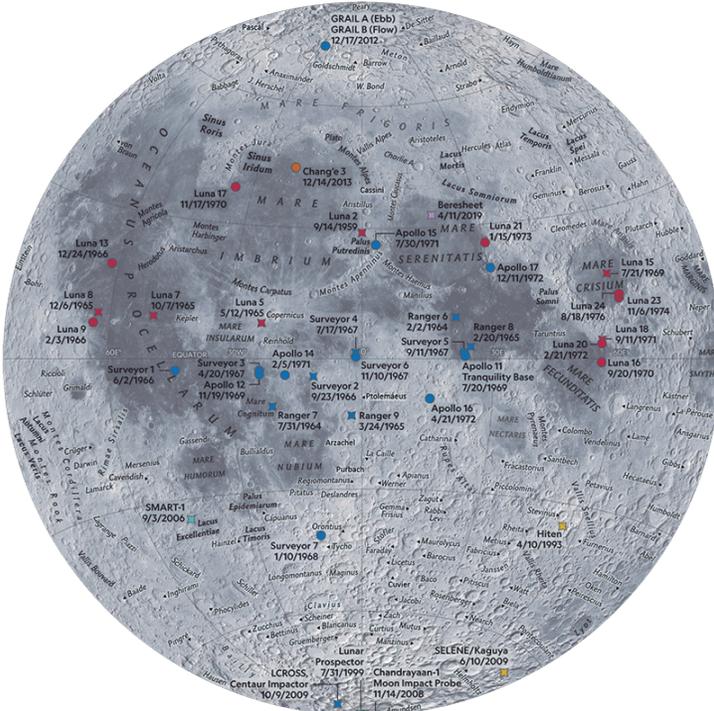
Al otro lado de la Luna, el lado que la Tierra nunca ve, solo hay dos pequeñas llanuras: *Mare Muscoviense* y *Mare Ingenii*, los mares de “Moscovia” y la “inteligencia”; cubren un área un poco más grande que la de las dos islas de Nueva Zelanda (figura 24). Las partes más brillantes de la Luna se llaman las “tierras altas” (*highlands*).

Donde se encuentran con la *maria*, a menudo hay cadenas montañosas, en su mayoría con nombres de contrapartes en la Tierra; los que rodean *Mare Imbrium* son Montes Alpes, Montes Jura, Montes Carpatius, Montes Caucasus y Montes Apenninus.

83. El sistema actual de nomenclatura lunar descende del astrónomo jesuita Riccioli, quien en 1651 agregó nombres a las características representadas en un mapa lunar realizado por su alumno Grimaldi. Riccioli usó nombres latinos para la *maria* que reflejaba la idea de que la Luna influía en el clima de la Tierra. Por tanto, hay *maria frigoris* (mar de frío), *humorum* (humedad), *imbrium* (lluvias) y *nubium* (nubes). Algunos otros fueron nombrados por estados mentales: *serenitatis* (serenidad), *tranquillitatis* (tranquilidad) y *crisium* (crisis), así como de otras cosas (*nectaris* del néctar). Riccioli nombró cráteres en honor a famosos astrónomos, con los antiguos griegos en el norte y los científicos más recientes hacia el sur. No siendo modesto, colocó su nombre y el de Grimaldi en grandes cráteres cerca de la extremidad occidental. Desde la época de Riccioli, se han agregado muchos más nombres a la Luna, de modo que ahora hay aproximadamente 1.240 en la cara visible a la Tierra y otros 690 en la cara oculta. La Unión Astronómica Internacional ha asignado nombres a las características lunares durante más de 80 años, con el requisito de que la persona conmemorada sea un científico prominente que lleve muerto al menos tres años. Hay muchos más cráteres en la Luna que merecen un nombre, por lo que muchos solo tienen designaciones de letras; por tanto, los cráteres cerca de Copérnico pueden ser Copérnico A, Copérnico B, etc.

84. La cara visible de la Luna es el hemisferio que está permanentemente orientado hacia la Tierra, siendo el hemisferio opuesto la cara oculta de la Luna. La razón por la cual desde la Tierra solo es visible esta cara de la Luna es debido a que la Luna gira en torno a su eje de rotación a la misma velocidad a la cual orbita alrededor de la Tierra. A la cara oculta de la Luna se le suele llamar el “lado oscuro”, pero esto es incorrecto ya que no hay sección de la Luna que no reciba luz solar. Debido a las libraciones (conjunto de movimientos de oscilación que presenta el disco de la Luna con respecto a un observador ubicado en la Tierra), desde la Tierra solo se oculta el 41% de la superficie lunar (es decir unos 15.5 millones de kilómetros cuadrados).

Polo Norte



Polo Sur

- Estados Unidos
- Unión Soviética - Rusia
- China
- Japón
- Agencia Espacial Europea (ESA)
- India
- Israel
- Corea del Sur
- Aterrizaje
- ☆ Choque o Impacto

Figura 23. Cara visible de la Luna

Fuente: adaptada de National Geographic (2006)

Los Apeninos tienen 400 kilómetros de extensión y son quizás los más impresionantes, ya que sus picos se elevan hasta cinco kilómetros por encima de las llanuras no lluviosas; son de estatura similar a las montañas Rwenzori en África Oriental, conocidas en la antigüedad como las "Montañas de la Luna" (Morton, 2019). La característica más llamativa de las tierras altas, cuando la Luna está llena, es el cráter *Tycho*, en las tierras altas del sur del lado cercano; es el nexo de un estallido estelar de "rayos" lineales brillantes que se extiende por la mitad del hemisferio. *Tycho* es probablemente el más joven, de unos 100 millones de años; data de un momento en que, en la Tierra, la grieta que creó el Atlántico acababa de comenzar a sacar a América del Sur de lo que ahora es la Bahía de Benin.

presentes en la Tierra (Crotts, 2014). La superficie lunar está creada en gran parte por oxígeno unido en minerales a otros elementos como silicio, aluminio y magnesio, y con cantidades presentes más pequeñas de titanio y magnesio (Brearley, 2006). Tanto la corteza lunar como la terrestre están compuestas principalmente de silicatos, y el mineral no silicato de mayor disponibilidad en la superficie lunar es la ilmenita, que es una fuente potencialmente valiosa de titanio (Klinger, 2017).

La Luna probablemente tiene también importantes reservas de agua. Primero, hay estimaciones de que el agua podría estar presente en grandes cantidades, principalmente en las APS ubicadas alrededor de los polos lunares (Brearley, 2006; Spudis, 2009; Crotts, 2014). Sin embargo, estos depósitos de agua ubicados en los polos representan un desafío importante para su disponibilidad, ya que la extracción de agua de las APS (caracterizadas por temperaturas extremadamente bajas), requeriría tecnologías que puedan operar en entornos con diferencias considerables en los niveles de calor. Además, el agua en los polos lunares probablemente esté contaminada, por lo que necesitaría purificarse antes de poder usarse (Crotts, 2014); otra probable fuente de agua es el agua subterránea, que posiblemente se encuentra en varios lugares. Lo cierto es que la presencia de agua en la Luna y su disponibilidad es crucial por varias razones: la primera, la necesidad de los organismos terrestres del consumo de agua; la segunda, el posible uso del agua como combustible para cohetes (al descomponerlo en oxígeno e hidrógeno), por lo que esta posibilidad convierte el agua en uno de los recursos críticos para la futura emancipación de la humanidad al resto del Sistema Solar. En efecto, los cuerpos celestes con fuentes de agua probablemente tendrán un papel esencial como estación de repostaje. Luego, hay otros posibles usos del agua (Messeri, 2016): extracción de oxígeno para la respiración, producción de energía, como aditivo para el concreto lunar o como capa de protección contra la radiación cósmica, por lo que acceder al almacenamiento de agua lunar mejoraría las capacidades de construir asentamientos lunares (la ubicación del asentamiento lunar se verá afectada en gran medida por la presencia de agua extraíble en sus alrededores).

4.3.2 Astropolítica del espacio cislunar.

La Luna ha ocupado un lugar destacado en cualquier plan de vuelo espacial humano más allá de la órbita terrestre baja, como fue en el caso de Estados Unidos, y parece serlo para la República Popular China, que viene denotando la previsión y la voluntad de tomar la iniciativa en la actualidad. Y no es para menos, ya que el valor de la Luna reside en tres atributos principales (Spudis, 2016): está cerca, es interesante y es útil.

4.3.2.1 La proximidad lunar.

Con relación al primer atributo, y a diferencia de la mayoría de los otros destinos espaciales, la Luna es la compañera en el espacio de la Tierra; el sistema Tierra-Luna orbita alrededor del Sol como un solo planeta. Por tanto, la Luna siempre es accesible desde la Tierra; esto está en marcado contraste con otros objetivos de la cuarta región astropolítica, como los planetas y los asteroides del Sistema Solar, todos los cuales tienen órbitas solares independientes, siendo accesibles de manera óptima solo durante ciertos cortos periodos de tiempo llamados "ventanas de lanzamiento". En el caso de Marte, las buenas ventanas de lanzamiento son aquellas que requieren la cantidad mínima de energía para la transferencia (expresada como "Delta-V" o cambio en la velocidad)⁸⁵, las cuales ocurren aproximadamente cada 26 meses. Otros objetivos, como los asteroides cercanos a la Tierra, pueden tener ventanas más frecuentes separadas por meses pero que duran solo unas pocas horas o días.

Por el contrario, la Luna siempre está disponible; si bien hace 50 años, los lanzamientos de las misiones *Apolo* se programaron dentro de ventanas de lanzamiento muy estrechas (Heiken, Vaniman y French, 1991), porque el módulo lunar tenía que aterrizar en la Luna en las primeras horas de la mañana (cuando las sombras proyectadas hacen que el relieve de la superficie se destaque claramente), uno de los primeros elementos que se colocará en un puesto de avanzada lunar en el futuro será un faro en la superficie, es decir, un dispositivo de radio que permita a las futuras naves aterrizar completamente a "ciegas" en cualquier momento del día o de la noche lunar. En consecuencia, las salidas y llegadas se realizarán por conveniencia, con un cronograma impuesto no por la mecánica celeste sino por los horarios operativos de los administradores del sistema de vuelo; una serie de radiobalizas permitiría el desarrollo de un sistema de vuelo completamente automatizado, uno que podría transportar mercancías y personas entre la Tierra y un puesto avanzado lunar.

Se puede acceder a la Luna a través de muchos enfoques orbitales diferentes. Las rutas directas, que requieren la cantidad máxima de cambio de velocidad (Delta-V),

⁸⁵. En términos de navegación espacial, una medida importante es el esfuerzo de propulsión requerido para cambiar un vector de velocidad, o la velocidad total requerida para llegar del punto A al punto B. El esfuerzo de velocidad total (también llamado Δv o Delta V), es la clave para comprender la realidad de los viajes espaciales y el movimiento eficiente de naves, personas o mercancías. En otro ejemplo de distancia efectiva en el espacio versus distancia lineal, es mucho más barato en términos de Δv propulsar una nave espacial de la Luna a Marte (56 millones de kilómetros en el punto orbital más cercano), que propulsar la misma nave espacial de la Tierra a la Luna (solo 385.000 kilómetros). Por tanto, el Δv para pasar de la órbita terrestre baja (una órbita justo por encima de la atmósfera), a la órbita lunar, es de 4.100 metros por segundo, que es solo 300 metros por segundo más que ir a la órbita geosincrónica. De hecho, la mayor parte del esfuerzo de los viajes espaciales se gasta en llegar a 100 kilómetros de altitud de la Tierra, es decir, alcanzar la órbita terrestre baja. Un dato aún más revelador, es que pasar de la órbita terrestre baja a la órbita lunar toma alrededor de cinco días, pero requiere menos de la mitad del esfuerzo necesario que para ir desde la superficie de la Tierra a la órbita baja. Por esto, ciertos puntos muy separados en distancia (y tiempo), están bastante juntos en términos del esfuerzo de propulsión requerido para moverse de uno a otro (Dolman, 2005).

son posibles desde la Tierra, lo que resulta en tiempos de transferencia del orden de tres días; la modificación mínima permite menores requerimientos de energía total y agrega otro día más o menos al tiempo de tránsito. Por otro lado, es posible enviar grandes cargas a través de rutas de transferencia de "bote lento", utilizando técnicas eficientes de bajo empuje y de alta energía como la propulsión eléctrica solar (Spudis, 2016); estas transferencias se extienden en espiral a distancias lunares durante periodos de semanas a meses. Finalmente, los enfoques por etapas se pueden llevar a cabo utilizando los puntos de Lagrange o la órbita lunar baja como puestos de avanzada⁸⁶. La ventaja de este enfoque es que los activos y piezas de un sistema complejo pueden ensamblarse en un nodo de preparación, con la misión de superficie realizada desde ese punto. El sistema *Apolo* utilizaba una órbita lunar baja como un puesto de preparación; y usar una posición de preparación desde uno de los puntos de Lagrange tiene muchos beneficios, incluida su utilidad como área de clasificación para las futuras exportaciones lunares, así como para comunicaciones de línea de visión constante con la Tierra y la Luna.

Si bien la Luna es el único rasgo físico visible del espacio cislunar, es solo una de varias posiciones estratégicas ubicadas en esta tercera región astropolítica. En efecto, hay regiones en el espacio cislunar con anomalías gravitacionales conocidas como "puntos de libración de Lagrange", llamadas así por el matemático francés del siglo XVIII que postuló por primera vez su existencia. Un punto de Lagrange es una ubicación en el espacio exterior donde las fuerzas gravitacionales combinadas de dos cuerpos grandes, como la Tierra y el Sol, o la Tierra y la Luna, equivalen a la fuerza centrífuga que siente un tercer cuerpo mucho más pequeño; la interacción de las fuerzas crea un punto de equilibrio donde una nave espacial puede "estacionarse", sin gasto de combustible. Estos puntos son similares a las órbitas geosincrónicas, las cuales permiten a un objeto estar en una posición fija en el espacio, en lugar de en una órbita en la que su posición relativa cambia continuamente.

Hay cinco puntos de Lagrange alrededor de los cuerpos principales, como un planeta o una estrella. tres de ellos yacen a lo largo de la línea que conecta los dos cuerpos grandes. Por ejemplo, en el sistema Tierra-Sol, L1 se encuentra entre la Tierra y el Sol a 1.609.344 kilómetros de la Tierra, por lo que obtiene una vista ininterrumpida del Sol; actualmente está ocupado por el Observatorio Solar y Heliosférico (SOHO) y el

⁸⁶. En los vuelos espaciales humanos, no se vuela en una sola nave espacial monolítica (hasta el momento). En cambio, se vuelan partes y piezas, juntando esas partes en el espacio y luego en la superficie de la Luna. Algunas partes se dejan y otras se traen de vuelta a la Tierra. Para escapar de la fuerza gravitacional terrestre, se necesita una gran cantidad de energía, y para luego aterrizar en la Luna y no pasar directamente por ella, se tiene que reducir la velocidad al perder esa misma energía. Por ende, se podría ahorrar algo de esta energía dejando partes de la nave espacial en órbita, llevando solo lo que se necesite a la superficie de la Luna. Una base permanente en una órbita alrededor de la Luna actuará como un puesto de preparación, desde donde se pueden dejar, recoger y ensamblar las partes.

Observatorio Climático del Espacio Profundo. L2 también se encuentra a 1.609.344 kilómetros de la Tierra, pero en la dirección opuesta del Sol; en este punto, con la Tierra, la Luna y el Sol por detrás, una nave espacial puede tener una visión clara del espacio profundo; la sonda de anisotropía de microondas *Wilkinson* de la NASA (WMAP), se encuentra actualmente en este lugar midiendo la radiación de fondo cósmica que queda del *Big Bang* y se espera trasladar el telescopio espacial *James Webb* a esta región. L3 se encuentra detrás del Sol, frente a la órbita de la Tierra y por ahora, la ciencia no ha encontrado un uso para este lugar. L4 y L5 están en la trayectoria orbital de la Tierra alrededor del Sol, 60° por delante y por detrás de la Tierra, formando el vértice de dos triángulos equiláteros que tienen las grandes masas (la Tierra y el Sol, por ejemplo) como sus vértices (figura 25).

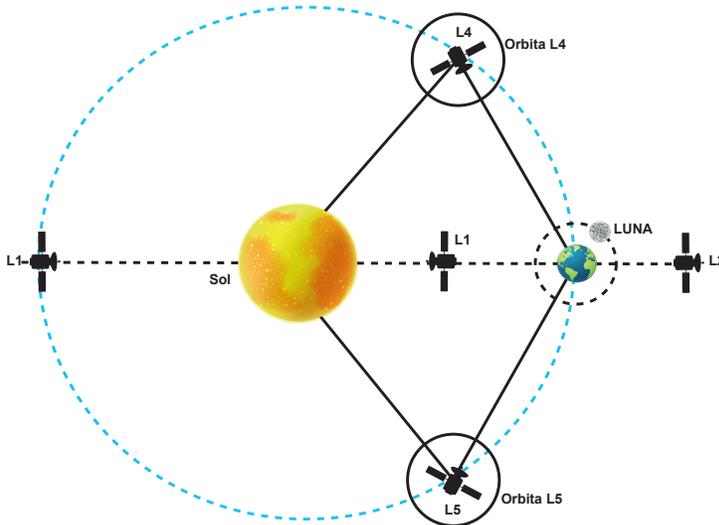


Figura 25. Puntos de Lagrange
Fuente: elaboración propia

En resumen, L1 y L2 están posicionados sobre los lados diurno y nocturno de la Tierra; respectivamente, L3 está al otro lado del Sol (frente a la Tierra), y L4 y L5 están 60° adelante y detrás de la Tierra en la misma órbita. En la práctica, debido a perturbaciones en el entorno espacial (incluidas las erupciones solares, la deriva y la oscilación orbital, así como los micrometeoritos), tres puntos de la línea Tierra-Sol se consideran inestables (L1, L2 y L3), y solo dos estables (L4 y L5), ya que se encuentran fuera de la línea de Tierra-Sol. Un satélite ubicado en L1, L2 o L3 sería como una pelota equilibrada en la cima de una colina empinada: cualquier leve perturbación empujará al satélite

fuera del punto de libración de Lagrange como si la pelota rodara cuesta abajo; los satélites en estos tres puntos necesitan ajustes constantes para mantenerse equilibrados y permanecer en su lugar.

En contraste, los satélites en L4 y L5 son más como una pelota en un tazón: incluso si se perturban, regresan automáticamente al punto de Lagrange; por eso se especula que estos dos puntos de Lagrange tienen importancia estratégica para las actividades comerciales y militares, ya que la energía necesaria para permanecer en estos puntos es efectivamente cero. Debido a la estabilidad de estos puntos, el polvo y los asteroides tienden a acumularse en estas regiones; los asteroides que rodean los puntos L4 y L5 se llaman "troyanos", en honor a los asteroides *Agamenón*, *Aquiles* y *Héctor* que se encuentran entre los puntos de libración en el espacio del planeta Júpiter al Sol. La NASA afirma que se han encontrado miles de este tipo de asteroides en el Sistema Solar, incluido el único asteroide troiano conocido en la Tierra, 2010 TK7. Pero L4 y L5 se encuentran en la misma trayectoria orbital que la Luna, y son órbitas permanentes a medida que los tirones gravitacionales de la Tierra y la Luna se cancelan mutuamente; por ello, estos dos puntos son ideales para la construcción de infraestructura orbital a gran escala, como estaciones espaciales⁸⁷.

La facilidad de comunicación con la Tierra es otra ventaja de la proximidad de la Luna, ya que el apalancamiento proporcionado por este corto retraso de tiempo varía, de lo meramente conveniente, a lo operacionalmente esencial (Heiken et al, 1991). Para las operaciones humanas típicas en la Luna o en distancias lunares, el tiempo de radio de ida y vuelta es un poco menos de tres segundos, un retraso notable pero fácil de manejar. El valor crítico del corto retraso de la distancia lunar viene con la teleoperación robótica, ya que la estrategia para adquirir capacidad operativa temprana en la Luna vendrá del emplazamiento y uso de activos robóticos. Estos robots prepararán y construirán la infraestructura del puesto avanzado lunar, así como en la recolección de recursos, extracción de agua, almacenamiento y procesamiento, trabajo que podría ser operado (o al menos supervisado), de forma remota desde la Tierra. Debido a la demora de decenas de minutos para la propagación de radio, la operación remota de máquinas en Marte hace que sea difícil realizar incluso las tareas más simples (Spudis, 2016). En contraste, la proximidad de la Luna permite operar activos en la superficie lunar casi que en tiempo real.

87. Un puesto de avanzada humana para orbitar la Luna en el futuro es la estación Gateway. Según la NASA, esta estación seguirá una órbita de halo casi rectilínea (altamente excéntrica), que se completará cada siete días. En lugar de orbitar alrededor de la Luna en una órbita lunar baja, como los módulos de mando de las misiones Apolo, Gateway pasará a 3.000 kilómetros de la superficie lunar en su punto más cercano, y en su punto más lejano llegará a estar a 70.000 kilómetros.

4.3.2.2 El valor científico lunar.

La Luna ofrece un valor científico que es único dentro de la familia de objetos en el Sistema Solar. Al ser un registro de la historia y el proceso de su creación, la Luna contiene materiales sin examinar desde su formación hace más de cuatro mil millones de años, por lo que es un laboratorio natural para comprender los procesos que crearon el Sistema Solar y que actualmente impulsan la evolución geológica de los planetas. Por tanto, la Luna registra su propia historia y la historia del Universo a su alrededor (Wilhelms, 1987). Además, su entorno permite experimentos únicos en las ciencias físicas y biológicas; sin ionosfera, y una cara oculta de la Luna que bloquea permanentemente el ruido de radio y la estática de la Tierra (Heiken et al, 1991), permitiría que un radiotelescopio ubicado allí pueda examinar longitudes de onda de baja frecuencia que son imposibles de detectar desde la superficie de la Tierra o en la órbita LEO. Así mismo, la superficie lunar sísmicamente silenciosa permite la contrición de instrumentos extremadamente sensibles y delicados, como interferómetros a longitudes de onda ópticas. Una serie de telescopios de este tipo podría lograr resoluciones en el segundo nivel de microarcos, lo que permite la observación directa de fenómenos como las estrellas y los hemisferios de los planetas terrestres en los sistemas cercanos (Spudis, 2016); dichas capacidades revolucionarían la comprensión humana de los caminos evolutivos de los sistemas estelares y planetarios.

Finalmente, el entorno de la Luna es en sí mismo un activo científico de gran valor. El duro vacío y el extremo régimen térmico permiten experimentos únicos de ciencia de materiales (Spudis, 2016). La baja gravedad de la Luna permitiría cuantificar los efectos de la gravedad fraccional en los fenómenos físicos y biológicos, y al ser un entorno aislado y esterilizante, permitiría la experimentación con procesos y materiales peligrosos. En efecto, futuras instalaciones en la superficie lunar permitirían realizar experimentos peligrosos que no sería prudente desarrollar en la Tierra. Éstas como muchas otras propiedades únicas, hacen de la Luna un activo incomparable para la experimentación científica y el trabajo de laboratorio.

4.3.2.3 La utilidad lunar.

Si bien los dos atributos anteriores de la Luna son extremadamente importantes, su mayor valor sería su potencial para crear una nueva capacidad de navegación espacial, a través de la explotación de sus recursos materiales y energéticos. De acuerdo con Heiken et al (1991), la idea de utilizar los materiales de otros mundos para aprovisionarnos, y para suministrar y apoyar los vuelos espaciales es muy antigua, aunque has-

ta la fecha no se haya intentado. Sin embargo, el desarrollo de esta actividad podría cambiar por completo el paradigma de los vuelos espaciales (Spudis, 2016). Actualmente, todo lo que se requiere en el espacio exterior debe ser transportado a la órbita de la Tierra a un altísimo costo, (entre US\$1.000 a US\$10,000 por kilogramo); y este costo se aplica a todo: “cuesta la misma cantidad de dinero lanzar un kilogramo de productos electrónicos de alta tecnología que un kilogramo de agua” (Spudis, 2016, p. 119). De tal modo, si se pudiera proporcionar agua, aire y propulsores de cohetes de fuentes locales que ya están presentes en el espacio exterior, podrían desarrollarse nuevas capacidades para que la humanidad se aventure permanente hacia el espacio profundo.

Los recursos de la Luna son simples y requieren un procesamiento mínimo (Wilhelms, 1987). Primero, el regolito del suelo tiene muchos usos como protección térmica y contra la radiación. Aunque se puede usar tierra suelta, el regolito también se puede fusionar mediante microondas o calentamiento solar térmico pasivo, en cerámica o agregado para material de construcción; las carreteras y las plataformas de aterrizaje se podrían llegar a fabricar sinterizando el regolito. Es decir, las estructuras y piezas se podrían producir con tecnología de impresora 3-D, utilizando regolito fino como materia prima.

Adicionalmente, los polos de la Luna poseen recursos críticos necesarios para la presencia humana a largo plazo en ella y en el espacio ultraterrestre. Los polos lunares tienen dos atributos que el resto de la Luna no posee: hielo de agua y áreas de luz solar casi permanente (Heiken et. al, 1991). Además del agua, otros elementos que están presentes en el hielo polar son el metano [CH₄], el monóxido de carbono [CO], el amoníaco [NH₃], el sulfuro de hidrógeno [H₂S] y algunas moléculas orgánicas simples (Wilhelms, 1987). Todas estas sustancias volátiles pueden procesarse químicamente para ayudar a mantener una presencia humana en la Luna. Las áreas oscuras de la Luna donde el hielo es estable son extremadamente frías, siempre inferiores a -169°C (aunque en algunos casos tan frías como -248°C); estas áreas oscuras se encuentran típicamente en los interiores de cráteres lunares, pero en algunos casos también en regiones extendidas de sombras. Aunque no hay áreas de luz solar permanente, se ha encontrado que ciertas regiones cercanas a ambos polos de la Luna están expuestas a la luz solar durante más del 90% de los años lunares. Por consiguiente, un puesto avanzado ubicado en estas áreas podría generar energía eléctrica de manera casi constante, con periodos de oscuridad puenteados por el almacenamiento de energía, como el uso de una pila de combustible recargable (Spudis, 2016).

Pero además de la constante energía solar disponible en los polos, la Luna contiene sustancias que, en el futuro, pueden usarse para generar energía para su aprovechamiento en la superficie lunar y en el espacio exterior. Varias regiones del lado cercano occidental contienen cantidades elevadas del elemento radioactivo torio [Th], que puede usarse para alimentar la energía nuclear y generar energía eléctrica (Klinger, 2017). Mediante varias reacciones nucleares, los reactores reproductores de Th pueden producir su propio combustible, lo que permitiría construir reactores espaciales en la Luna; un uso de la energía nuclear permitiría a los seres humanos sobrevivir la larga noche lunar y facilitar la habitación de las regiones ecuatoriales y de las latitudes medias de la Luna. Pero, sobre todo, la disponibilidad de abundante energía también permitiría la industrialización a gran escala de la Luna. En un futuro más lejano, algunos han propuesto que la velocidad del isótopo helio-3, implantado en el regolito lunar por el viento solar, podría cosecharse para generar energía eléctrica en una reacción nuclear relativamente limpia, es decir, una que no genere exceso de neutrones y productos de reacción sucios (Klinger, 2017). Potencialmente, la fusión de helio-3 podría resolver los problemas energéticos del mundo si se pudiera encontrar una fuente adecuada de isótopos⁸⁸.

Pero el activo estratégico lunar más importante consiste en el hielo de agua y la luz solar permanente cerca de los polos. El agua es el material más útil en el espacio; en su forma nativa, puede beberse y usarse para reconstituir alimentos, equipos frescos y hábitats para la protección contra la radiación, así como para las necesidades de higiene y saneamiento. Una corriente eléctrica puede disociar el agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno; estos gases pueden almacenarse y usarse: el oxígeno para respirar, y ambos gases recombinarse en una celda de combustible para generar electricidad. Utilizada de esta manera, el agua es un medio de almacenamiento de energía. Finalmente, el hidrógeno y el oxígeno pueden enfriarse en líquidos criogénicos y usarse como combustible para cohetes, el propelente químico más poderoso conocido hasta el momento; debido a su valor utilitario, el agua es realmente la "moneda de cambio" de los vuelos espaciales.

En resumen, la Luna es el primer objeto extraterrestre después de salir de la órbita terrestre, siendo un lugar muy deseable para establecer un "puente aéreo"⁸⁹, o mejor, un puente espacial; es una ubicación conocida por contener recursos naturales y ma-

88. Está presente en la Tierra como un componente del gas natural, pero en cantidades extremadamente pequeñas.

89. Un "puente aéreo" es una operación militar en la que un área ubicada en un territorio hostil es tomada y asegurada, permitiendo el aterrizaje de nuevas tropas y material bélico, y proporcionando nuevo espacio de maniobra para la consecución de las subsiguientes operaciones proyectadas. Puede ser utilizado como un punto de reaprovisionamiento de combustible para operaciones rápidas o menos permanentes.

teriales energéticos a los cuales se puede acceder, y es un lugar donde la humanidad puede aprender las habilidades y tecnologías necesarias para convertirse en residente permanente del espacio exterior.

Es en este orden de ideas, el **tercer imperativo astropolítico** de Colombia sería *proyectarse al rimland del Sistema Solar*, es decir, al espacio cislunar en general, y a la Luna, en particular. En el intento de darle a un futuro programa espacial colombiano una dirección estratégica de largo plazo, acceder a la Luna debería ser un interés nacional de Colombia. En efecto, el Estado colombiano debería elaborar un programa espacial que perdure durante décadas, que haga progresos constantes y genere beneficios tangibles con los niveles de financiación que eventualmente estarían disponibles. Es por eso por lo que el aprovechamiento de recursos lunares podría ser un apropiado punto de partida para un programa espacial colombiano que contemple satisfacer el tercer imperativo astropolítico de Colombia. Y como es sin duda un proyecto de investigación y desarrollo de ingeniería de alto riesgo, va a ser difícil que el sector privado y otros Estados puedan recaudar por si solos el capital necesario para su materialización, aun cuando el resultado de este proyecto podría conducir a la creación de nuevos mercados y riqueza. Es por eso por lo que como astroestrategia para el logro del tercer imperativo astropolítico, el Estado colombiano podría participar, a través de la cooperación internacional (con otras agencias espaciales, así como corporaciones privadas de carácter doméstico y foráneo), en el desarrollo de conocimiento y capacidades para aprovechar las oportunidades económicas proporcionadas por el usufructo del espacio cislunar.

Además, tener la capacidad de hacer presencia en la tercera región astropolítica es también un asunto de seguridad nacional. Tómese por el ejemplo el caso de China, conocida históricamente por tener una visión a largo plazo que a menudo abarca décadas (a diferencia de la visión cortoplacista que ha caracterizado a la sociedad colombiana); China comprende y aprecia la importancia estratégica y el valor del espacio cislunar. Y, aunque los planes chinos iniciales para las misiones lunares humanas son una declaración de paridad técnica con los Estados Unidos, los chinos también son conscientes del valor de la Luna como una "puerta trasera" para acercarse a otros niveles del espacio cislunar, como lo demostró la misión lunar *Chang'E 2*: aparentemente un mapeador global, esta nave espacial fue lanzada a la Luna en octubre de 2010, insertándose con éxito en la órbita lunar y pasando los siguientes ocho meses mapeando la superficie lunar en detalle. Pero luego, la misión dio un giro extraño, ya que después de abandonar la órbita lunar en junio de 2011, procedió a merodear durante los siguientes ocho meses en L2. En abril de 2012, estando en L2, *Chang'E 2*

interceptó y voló más allá de unos tres kilómetros de *Toutatis*, un asteroide cercano a la Tierra que orbita alrededor del Sol, enviando con éxito imágenes y otros datos de su encuentro con este cuerpo celeste.

Este perfil de misión es significativo en términos de defensa espacial, ya que los chinos demostraron su capacidad para despachar y maniobrar una nave en todo el espacio cislunar, incluidas las tareas de encuentro e intercepción, así como en la habilidad de comandar y operar este vehículo durante varios años. Pues bien, merodear, interceptar y la acción al mando son tres pilares de la guerra antisatélite (Dolman, 2005); además, una nave espacial en una ruta de intercepción desde arriba, en lugar de desde abajo (como sería el caso de las misiones antisatélite lanzadas desde la Tierra), es mucho más difícil de detectar y rastrear. En conclusión, con la misión *Chang'E 2*, China demostró no solo la capacidad de llegar a la Luna, sino también la de basar armas ASAT en el espacio cislunar profundo e interceptar cualquier nave espacial a voluntad, que usualmente tienen muy pocas capacidades defensivas.

4.4 Cuarta región astropolítica: el espacio solar

Es la región más allá de la órbita de la Luna, constituyéndose en el espacio vital para una creciente población en la Tierra. Los planetas cercanos de Marte y Venus, las lunas de Júpiter y Saturno, y muchos de los grandes asteroides en el cinturón de asteroides, contienen las materias primas necesarias para encender una edad neo-industrial. Con relación a Marte, es el segundo planeta más pequeño del Sistema Solar, con un diámetro de aproximadamente 6.791 kilómetros (solo supera en tamaño a Mercurio)⁹⁰. Su atracción gravitacional es solo un tercio de la terrestre, y su superficie es de tamaño similar a toda la masa terrestre (Zubrin, 1996). Marte carece de magnetosfera, pero tiene ionosfera y su atmósfera delgada está compuesta principalmente de dióxido de carbono. Un año marciano dura 687 días terrestres, y un día marciano 24 horas y 37 minutos, por lo que es similar al periodo diurno terrestre; sin embargo, sus estaciones son desigualmente largas debido a la órbita elíptica del planeta (Zubrin, 1996). Marte está a una distancia promedio de aproximadamente 1.5 UA del Sol⁹¹, con el punto más cercano a aproximadamente 1.4 UA y el punto más distante en la órbita a una distancia mayor a 1.6 UA (Lane, 2011).

90. Según la Nasa, Júpiter tiene un diámetro de 69,911 kilómetros (1.120% el tamaño de la Tierra); Saturno tiene 58.232 kilómetros de diámetro (945% el tamaño de la Tierra); Urano, 25.362 kilómetros de diámetro (400% el tamaño de la Tierra); Neptuno, 24.622 kilómetros de diámetro (388% el tamaño de la Tierra); la Tierra tiene 6.371 kilómetros. Por su parte, Venus tiene 6.052 kilómetros de diámetro (95% el tamaño de la Tierra); Marte, 3.390 kilómetros de diámetro (53% el tamaño de la Tierra) y Mercurio, 2.440 kilómetros de diámetro (38% el tamaño de la Tierra)

91. La Unidad Astronómica (UA) es una unidad de longitud igual a 149.597.870.700 metros, que equivale aproximadamente a la distancia media entre la Tierra y el Sol.

Marte tiene dos lunas: Phobos (la más grande) y Deimos, que orbitan el planeta a una velocidad relativamente rápida de 7.6 y 30.3 horas, respectivamente (Lewis, 1997); ambos son probablemente asteroides capturados o restos de alguna colisión ancestral. Cualquier constelación relativa de la Tierra y Marte se repite en ciclos de 26 meses y su distancia se repite en ciclos de 15 años (Stuster, 2012). De acuerdo con Lane (2011), Marte fue a lo largo de su historia, y con un grado significativo de certeza, geológicamente activo. Esto no solo significa que la superficie marciana es variada, sino que también contiene muchos minerales que son vitales para la actividad humana; los recursos cruciales incluyen carbono, nitrógeno, hidrógeno u oxígeno en formas más fáciles de acceder que aquellos en la Luna, donde están unidos a metales. Otros recursos probablemente contienen metales y minerales en formas altamente concentradas, o deuterio (Zubrin, 2009). También existe la posibilidad de que se encuentren minerales raros en caso de que un asteroide masivo golpee la superficie marciana sin destruirse (Klinger, 2017); además, las lunas marcianas también podrían ser cosechadas para He-3 (Lewis, 1997). En otras palabras, la presencia de recursos en Marte es probablemente alta, pero la distancia desde la Tierra y el pozo gravitacional más profundo de Marte, implica que sean económicamente menos viables de extraer, que aquellos ubicados en la Luna u otros cuerpos celestes (Wingo, 2009).

A diferencia de la Luna, que orbita relativamente cerca de la Tierra, llegar a Marte desde requiere recorrer entre 56 a 400 millones de kilómetros (Zubrin, 1996)⁹², y ninguna trayectoria conocida hasta el momento puede acortar los largos meses de tránsito (incluso, la mayoría de las misiones robóticas duran nueve meses)⁹³. No obstante, hay varios diseños de misiones propuestas para llegar al planeta marciano con una tripulación humana; el primer plan de misión potencial incluye el uso de la órbita de transferencia de Hohmann según la propagación. Para Zubrin (1996), el uso de la órbita de transferencia de Hohmann con un lanzamiento programado desde la Tierra, llevaría a posibles viajeros a Marte en 150 días, y la velocidad relativa del vehículo sería suficiente para que la gravedad marciana capture la nave, pero dejando la posibilidad de un sobrevuelo del planeta en caso de emergencia que obligase a un retorno directo a la Tierra (Zubrin, 1996; 2009)⁹⁴. Okutsu (2015) presentó un modelo alternativo para llegar a la superficie de Marte, abogando por la construcción de una

92. Es entre 140 y 1.000 veces la distancia de la Tierra a la Luna.

93. El primer objeto hecho por el hombre que aterrizó en la superficie marciana fue *Viking 1*, en 1976.

94. Zubrin (1996) también presenta otros dos planes de misión basados en la conjunción y oposición. La misión conjunta es una misión de energía mínima con el uso de dos órbitas Hohmann y una estadia de 550 días en la superficie marciana (900 días en total para todo el viaje). La misión de la oposición devolvería a la tripulación usando el sobrevuelo de Venus y una asistencia gravitacional, y reduciría la duración total de la misión a 300 días, aunque expondría a la tripulación a mayores niveles de radiación debido al mayor acercamiento al Sol.

gran estación espacial que orbite periódicamente entre la Tierra y Marte, con vehículos más pequeños utilizados para llegar a la superficie de ambos planetas.

Con base en lo anterior, es necesario hacer nuevamente uso de la geopolítica clásica. Aunque el espacio exterior (como los mares terrestres), puede potencialmente ser atravesado en cualquier dirección, los pozos gravitacionales y el costo prohibitivo de conseguir combustible en órbita sugieren que el futuro de los viajes espaciales tendrá tráfico pesado alrededor de órbitas y rutas de tránsito específicas, para reducir costos y aumentar la seguridad. Al igual que el control marítimo, para el control astropolítico es fundamental controlar las Líneas de Comunicación Espaciales (LCE). Éstas son vulnerables a los cuellos de botella y a los puertos de control terrestres o extraterrestres a considerarse en el futuro cercano o lejano. Pues bien, en el espacio existen órbitas específicas y rutas de tránsito que debido a sus ventajas en la eficiencia del combustible crean corredores naturales de movimiento y de comercio; cada una de estas vías, identificadas como órbitas de transferencia de Hohmann, tiende a ser en sí misma crítico cuello de botella.

En la astronáutica y la ingeniería aeroespacial, la órbita de transferencia de Hohmann es una maniobra orbital que, bajo las hipótesis comunes de la astrodinámica, traslada una nave espacial desde una órbita circular a otra utilizando dos impulsos de su motor. En la era de la vela, el viento y la corriente marina fueron los factores determinantes en los viajes transoceánicos, mientras que, en los viajes en tren, el gradiente era la limitación determinante en el transporte transcontinental. En el espacio exterior, la gravedad es el factor más importante para lograr atravesar la topografía del espacio. Como ya se había comentado, las ondulaciones invisibles del "terreno" del Universo, es decir, las "colinas" y los "valles" del espacio exterior, se denominan "pozos de gravedad", en donde cuanto más masivo es el cuerpo, más profundo es el pozo. Así mismo, la discusión previa de la mecánica orbital había demostrado que una nave espacial en órbita estable no gastaría combustible y, por tanto, estaría en la configuración Δv más ventajosa, por lo que el viaje más eficiente en el espacio se podría imaginar como una transferencia de una órbita estable a otra, con el menor gasto de Δv .

Usando esta lógica, en el espacio pueden encontrarse órbitas específicas y rutas de tránsito que, debido a sus ventajas en la eficiencia del combustible, crean corredores naturales de movimiento y comercio (Doboš, 2019). Las maniobras orbitales se pueden realizar en cualquier punto, pero para ahorrar combustible, hay ciertos puntos en los que se debe aplicar el empuje (Dolman, 2005). La forma más eficiente de llegar

de la órbita *A*, a la órbita *B* (el lenguaje apropiado de los viajes espaciales), es la transferencia de Hohmann; esta maniobra es un cambio de dos pasos en Δv ; primero se encienden motores para acelerar la nave espacial a una órbita elíptica más alta (o desacelerar a una más baja); cuando la órbita objetivo se cruza, los motores vuelven a dispararse para circularizar y estabilizar la órbita final. Una órbita de transferencia de Hohmann se representa desde la Tierra a la órbita geosíncrona, pero se usa la misma lógica en todas las transferencias, incluida la órbita terrestre baja a movimiento geoestacionario, planetario, incluso la interceptación de cometas desde las instalaciones de lanzamiento de la Tierra (figura 26).

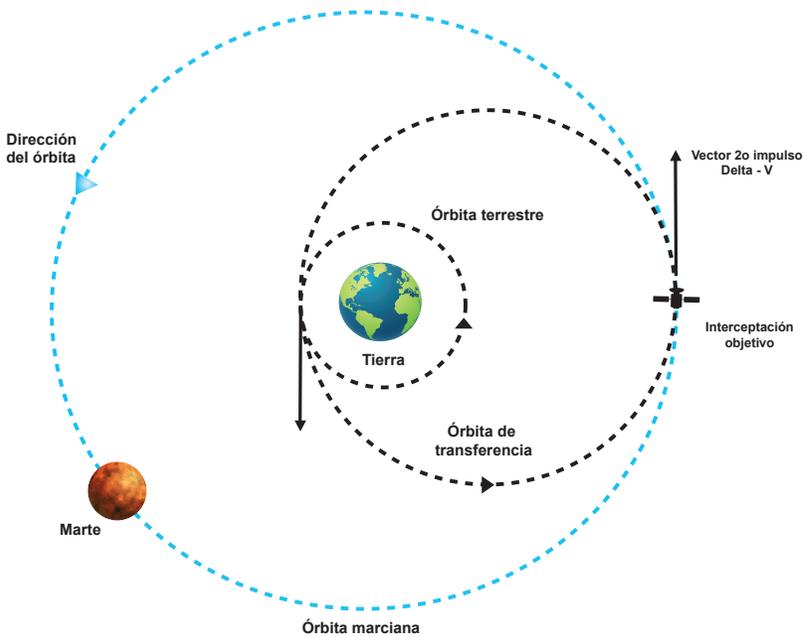


Figura 26. Órbitas de transferencia de Hohmann
Fuente: elaboración propia

Las llamadas "transferencias rápidas", en las que se ignoran las reglas de la mecánica orbital y una nave espacial simplemente gasta combustible a lo largo de su trayectoria de vuelo, por supuesto son posibles, pero requieren un gasto de Δv que solo se realizará si el combustible es abundante y económico, o si el tiempo es crítico.

Sin embargo, éste es el equivalente en el espacio ultraterrestre de navegar por el camino largo y puede hacer que los negocios no sean rentables y las pérdidas inacep-

tables. Dada la necesidad vital de conservar combustible y aumentar la vida productiva de las naves espaciales, las futuras LCE comerciales y militares serán órbitas de transferencia de Hohmann entre puertos espaciales estables. En esta línea, en 1997 se publicó un grupo de órbitas conocidas como "Red de Transporte Interplanetario", un conjunto de vías determinadas gravitacionalmente a través del Sistema Solar que, si bien son más lentas que las de Hohmann, requieren muy poca energía para que un objeto las siga; por tanto, el Estado que ocupe o controle más eficazmente estas posiciones podría llegar a garantizarse para sí, la dominación del comercio espacial, y en última instancia, la de la política terrestre.

Finalmente, otros activos estratégicos dignos de mencionar en la cuarta región astropolítica (aparte del resto de los planetas del Sistema Solar, y sus lunas), son los asteroides, el planeta enano Ceres y los cometas que viajan por el Sistema Solar interior. Comenzando con los asteroides, pueden encontrarse diferentes tipos, divididos por sus características orbitales, como, por ejemplo, Objetos Cercanos a la Tierra (OCT), Asteroides Potencialmente Peligrosos (APP), objetos del cinturón de asteroides o troyanos. La mayoría de los asteroides (incluidos los más grandes), se encuentran en el cinturón de asteroides; más de 10.000 OCT conocidos (de los cuales más de 800 tienen un diámetro mayor a un kilómetro), se pueden agrupar en: asteroides *Amor*, cruzando Marte pero no la órbita de la Tierra; asteroides *Apolo*, que cruzan la órbita terrestre y tienen un periodo orbital superior a un año; y asteroides *Atenas*, cruzando la órbita terrestre con un periodo orbital inferior a un año y una distancia promedio inferior a un UA. También llama la atención que los asteroides que orbitan dentro de 2.5 UA del Sol están secos, mientras que aquellos más alejados del Sol tienen hielo en su composición (Sommariva, 2015).

Muchos asteroides se encuentran en órbitas inestables, lo cual dificulta su acceso. Pero la situación es menos complicada en el caso de los planetas enanos, como Ceres, ubicado dentro del Sistema Solar interno; éste orbita dentro del cinturón de asteroides y está a una distancia promedio de 2.7 UA del Sol, a la cual orbita una vez cada 4.6 años terrestres, y su día dura aproximadamente nueve horas. El diámetro de Ceres es de 950 kilómetros (el planeta enano más pequeño que se conozca hasta el momento), y su gravedad es inferior al 3% de la terrestre. Se cree que Ceres tiene una cantidad significativa de agua en su superficie, aunque no contiene una atmósfera o magnetosfera considerable. Por esto, probablemente no sea factible para una habitación a largo plazo, aunque sí tiene el potencial de convertirse en un depósito esencial de agua disponible. Finalmente, los cometas que viajan periódicamente entre el Sistema Solar interno y externo, debido a sus órbitas específicas, generalmente están compuestos

de polvo y hielo, y son atractivos para la minería espacial en el futuro lejano.

Por consiguiente, las razones para aterrizar en estos pequeños cuerpos celestes serían numerosas. Primero, hay un valor científico, ya que la exploración de asteroides, cometas y Ceres aportaría nuevos conocimientos esenciales sobre la composición y los orígenes del Sistema Solar. En segundo lugar, hay un problema de defensa planetaria; las APP amenazan con golpear la Tierra, y es necesario desarrollar tecnologías y estrategias para proteger al planeta de un posible impacto que podría tener consecuencias fatales para la existencia de vida en el planeta. En tercer lugar, está el tema del desarrollo económico; este punto comprende la utilización comercial directa de OCT, como la extracción de combustible (Lewis, 1997), utilización de materiales y minerales (Sommariva, 2015), o minería de Helio-3 (Dudley y Gangale, 2012), así como el posible uso de éstos como método de transporte para alcanzar de manera económica el cinturón de asteroides (en el caso de aquellos asteroides con órbita alcanzando tanto el cinturón de asteroides como la región cercana a la Tierra). Los asteroides grandes también podrían cumplir funciones de estaciones de reabastecimiento de combustible (Dolman, 2005), y puntos geoestratégicos críticos en la futura utilización de la cuarta región astropolítica. Finalmente, las habilidades adquiridas al realizar las misiones de aterrizaje de asteroides podrían ser útiles para una futura misión tripulada a Marte (Burchell, 2014).

En conclusión, la cuarta región astropolítica, con sus numerosos planetas, lunas y asteroides, es un entorno altamente rico en recursos. Los cuerpos celestes contienen cantidades altamente concentradas de metales como hierro, níquel, tungsteno, cobalto y elementos de tierras raras, así como gases como amoníaco, nitrógeno e hidrógeno (Klinger, 2017). Los cometas son principalmente agua congelada incrustada con partículas de polvo, mientras que los asteroides rocosos están compuestos de materiales de silicato ricos en carbono, metálicos y minerales. La extracción de estos recursos tiene un potencial crítico para el sustento de la vida tanto en la Tierra como en el espacio ultraterrestre.

En consecuencia, un **cuarto imperativo astropolítico** de Colombia sería el de *aventurarse al lebensraum del Sistema Solar*, mediante la geoestrategia de participación en misiones conjuntas de sondas exploratorias con agencias espaciales de otros Estados que ya cuentan con un acervo técnico y experiencial en los viajes al espacio profundo (figura 27). Ello con miras a allanar el camino de participar en futuras misiones tripuladas a planetas como Marte, que pareciera tener el potencial de mantener una población bastante considerable de colonos terrestres en el futuro (Zubrin, 1996). Esto

garantizaría la supervivencia de Colombia en caso de que un desastre apocalíptico previsible sea inevitable. Por último, pero no menos importante, Marte podría llegar a convertirse en una parte esencial del comercio del Sistema Solar, desempeñando una función de base de apoyo para misiones de minería de asteroides, sitio de extracción de algunos recursos y un fabricante de productos de baja tecnología utilizados en el desarrollo posterior del Sistema Solar interno.

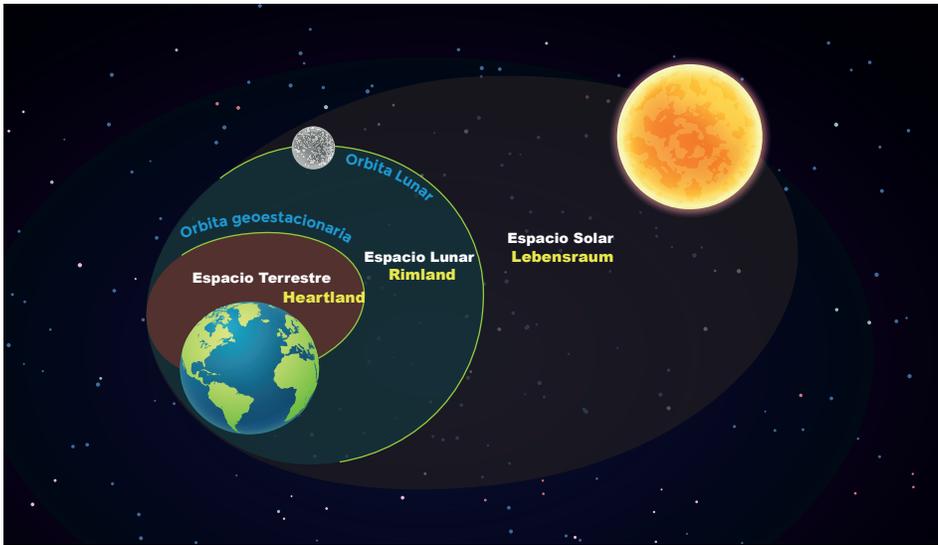


Figura 27. Regiones astropolíticas basadas en la geopolítica clásica
Fuente: elaboración propia con base en Dolman (2005)

5. Conclusiones

Como marco de análisis, la geopolítica clásica pretende ayudar a los estrategas y formuladores de políticas a comprender mejor los entornos terrestres y espaciales. Admite que la geografía y la tecnología definen límites y oportunidades en la política internacional, pero también integra la elección y las actividades humanas. Es en este sentido que la geopolítica clásica nunca ha sido determinista, como lo afirma la geopolítica crítica. Para la geopolítica clásica:

El equilibrio real del poder político en cualquier momento dado es, por supuesto, el producto, por un lado, de las condiciones geográficas, tanto económicas como estratégicas, y, por otro lado, del número relativo, la virilidad, equipo y organización de los actores en competencia (Mackinder, 1904, p. 437).

Mahan (1897) consideraba que el ascenso al poder de Gran Bretaña había sido posible porque los británicos supieron explotar su ubicación a través de las rutas marítimas de Europa. En este orden de ideas, un astroestratega debería construir analogías similares. Por ejemplo, Mahan (1890) observó correctamente que un Estado prudente no solo podría evitar la guarnición de todos los mares para dominarlos, sino que ni siquiera tendría que guarnecer la totalidad de las rutas comerciales; solo se debían controlar las ubicaciones de los puntos críticos a lo largo de estas "autopistas". Es decir, sería suficiente con una fuerza pequeña cuidadosamente desplegada, para controlar los cuellos de botella o los puntos de estrangulamiento de las principales rutas marítimas; el control de estas pocas ubicaciones geográficamente determinadas garantizaría el dominio sobre el movimiento comercial y militar del mundo, por parte del Estado supervisor. Por ende, las órbitas de transferencia de Hohmann se establecerían como el equivalente de la línea de comunicación marítima para el espacio exterior; es decir, el dominio del espacio vendrá a través del control eficiente de los estrechos o estrangulamientos estratégicos específicos del espacio exterior, a lo largo de las LCE.

Y resulta que el principal y primer cuello de botella estratégico fácilmente identificable en el espacio exterior es la órbita terrestre baja (LEO). Esta banda estrecha de espacio operativo contiene la mayor parte de los satélites de la humanidad, la mayoría de los cuales son plataformas o tienen utilidades militares; es también el entorno en donde opera la tecnología y las operaciones actuales de armas antisatélite (ASAT). Además, dentro de este estrecho cinturón se encuentran las actuales estaciones espaciales tripuladas y, por si fuera poco, a toda la inmensidad incomprensible del Universo solo se puede acceder viajando a través de ella (Dolman, 2005). Mientras tanto, en el borde del espacio terrestre, más allá de LEO, se encuentra el estrecho estratégico más competido: el cinturón geoestacionario; esta banda sobre la cintura ecuatorial de la Tierra es la única órbita natural que permite una posición estable en relación con un determinado punto en la Tierra. Sin embargo, el cinturón geoestacionario tiene limitaciones severas en la cantidad de satélites que pueden operar dentro de él, debido a la posibilidad de interferencia de transmisión desde plataformas adyacentes; esto ha hecho que la mayoría de los miembros de la comunidad internacional lo consideren un recurso natural internacional escaso y precioso. Sin embargo, en 1977, nueve estados ecuatoriales, entre ellos Colombia, afirmaron en la Declaración de Bogotá, que la soberanía nacional se extendía hasta la altitud geoestacionaria; y esta acción no fue diferente a los intentos de numerosos Estados costeros de extender el límite de sus aguas territoriales internacionalmente reconocidas. En otras palabras, el cinturón geoestacionario se ha considerado, por parte de algunos, un territorio soberano, transformando un área que se conoce habitualmente

como "patrimonio común de la humanidad", en una zona de potencial conflicto geopolítico. Mahan (1890) también abogó por el establecimiento de bases navales estadounidenses en puntos estratégicos, como Hawái, Filipinas y varias islas del Caribe, para que actuasen como estaciones de abastecimiento de combustible y reabastecimiento para la marina norteamericana. Y sin estas bases, los buques de guerra y comercio de Estados Unidos no habrían podido convertir a ese país en la superpotencia del sistema internacional. La noción no es fresca, y tal base por etapas es históricamente común; la defensa de Douhet (1942) de un procedimiento de base fundado en la nueva tecnología aérea, complementa la visión de Mahan (1890) cuando se transfiere al espacio ultraterrestre. Douhet (1942) escribió extensamente sobre la próxima revolución en la guerra moderna, debida al hecho de que las características de la superficie de la Tierra prácticamente no obstaculizaban los aviones (un cambio crítico en la evolución hacia la astropolítica, con la importancia gradualmente decreciente de la topografía). Sin embargo, la energía aérea estaba limitada por rutas críticas de operaciones, que requerían campos de despegue y aterrizaje ubicados con precisión, e instalaciones efectivas para el mantenimiento y reparación de las aeronaves. Por tanto, pensando astroestratégicamente, dichas bases deberían considerarse críticas para el control del espacio exterior, y los planetas, lunas, asteroides y otros cuerpos celestes serían lugares obvios para "estaciones de tránsito" o "peldaños" en operaciones espaciales futuras (figura 28). Pero estos pueden no ser los puntos más favorables desde una percepción estratégica. Quizás las ubicaciones más útiles para bases estratégicas o comerciales en el espacio cislunar sean las anomalías gravitacionales conocidas como puntos de Lagrange.

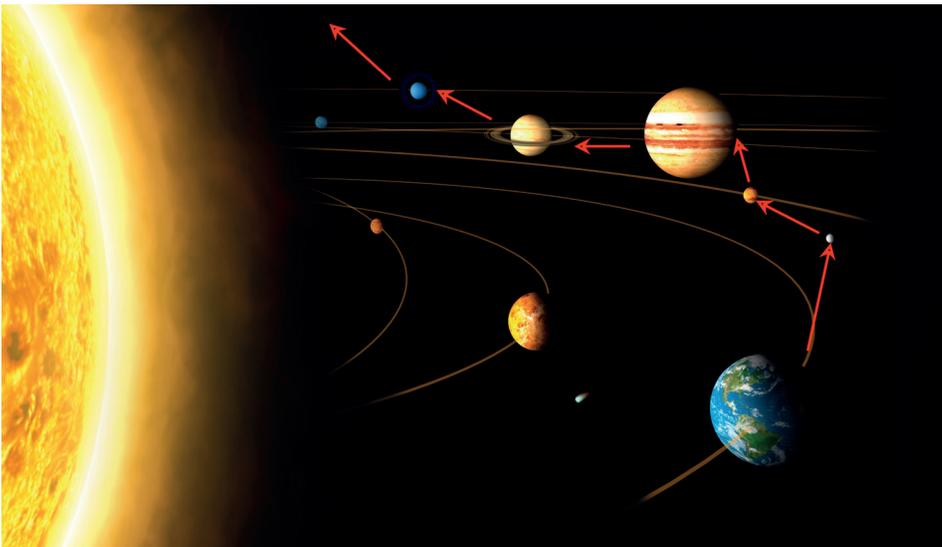


Figura 28. Bases pivote del Sistema Solar
Fuente: elaboración propia

En resumen, estos pocos ejemplos son solo algunas de las muchas características astro/ topográficas del terreno espacial actualmente explotado. El análisis astropolítico describe los puntos críticos de estrangulamiento en el espacio como aquellas áreas estables que incluyen los planetas, lunas, puntos de libración y asteroides donde se congregarán futuras empresas militares y comerciales (Dolman, 2005). Estos son los próximos puertos del espacio, ubicados junto con los valiosos recursos energéticos y minerales que se estima existen allí, o las estaciones de paso de Mahan (1890), Douhet (1942) y Mitchell (1925) en las diversas rutas de transferencia de Hohmann a estos recursos. Pero al igual que la tradición realista, los enfoques geopolíticos clásicos destacan los intereses nacionales y la competencia, a menudo legitimando la construcción de imperios extraterritoriales (Machiavelli, 1531; MacKinder, 1904; Haushofer, 1975), aunque las perspectivas varían con respecto al espacio exterior.

Algunos sostienen que cualquier Estado que obtenga el mayor control sobre el espacio ultraterrestre obtendría la mayor ventaja estratégica al conquistar el supremo "terreno elevado" (Dolman, 2005). Los efectos de este punto de vista han sido la militarización constante del espacio exterior por parte de las grandes potencias como Estados Unidos, Rusia, China e India (Stares, 1985). Otros enfoques estado-céntricos observan que "aquellos que pueden cosechar los beneficios del espacio exterior tienen muchas más probabilidades de tener éxito en nuestro mundo interdependiente e interconectado" (Al-Rodhan, 2012, p. 123), y por eso defienden la cooperación espacial internacional como un medio de construcción de alianzas para proteger intereses estratégicos (Johnson y Erickson, 2006; Wang, 2009), o para avanzar en acuerdos internacionales entre Estados socios (Soares, Epiphânio y Gilberto, 2009; Klinger, 2018). Ambos comparten una preocupación acerca de cómo se debe utilizar el espacio exterior para mejorar el poder geopolítico de los Estados nacionales en todo el espacio terrestre.

Desde este punto de vista, los entornos del espacio ultraterrestre se reformulan como activos estratégicos que deben instrumentalizarse para aumentar el poder y la autoridad del Estado. Pero utilizar el espacio exterior como fuente de poder estatal o imperial no sería nada nuevo; las élites han usado el cosmos como una fuente de autoridad material y simbólica durante milenios. En efecto, emperadores y monarcas afirmaron durante siglos que los "mandatos divinos" los instalaron en sus tronos (Spence, 1988; Monod, 1999; Marshall, 2001), y las figuras religiosas respaldaban estos reclamos de control territorial, antropomorfizando la evolución del cosmos para

reclamar privilegios conferidos por un Dios o dioses que residían en los cielos (Crone y Hinds, 1986; Brown, 2003; Gordis, 2003). En consecuencia, las figuras religiosas alineadas con el poder estatal o imperial se posicionaron como indispensables para apaciguar los poderes celestiales a cambio de subordinación y transferencias de riqueza material de otras personas.

Los poderosos actores del pasado y del presente utilizaron reclamos de acceso exclusivo al terreno supremo definitivo, incluso si solo se lo imagina, para organizar regímenes de control territorial en la Tierra, otorgando a la geopolítica clásica una profunda resonancia histórica con respecto al espacio exterior. Ya sea desde un punto de vista militar, real o religioso, estos puntos de vista clásicos definen el entorno del espacio exterior como una fuente de amenaza natural, espiritual o militar (Peoples, 2008; Shariff y Norenzayan, 2011; Olson, 2012). La invocación de estas amenazas es política y económicamente conveniente para movilizar capital y fuerza de trabajo en forma de diezmos, tributos o apropiaciones de defensa. Del mismo modo, tales discursos caracterizan el espacio exterior como repleto de riquezas para ser disfrutado solo por los "espiritualmente dignos" (Smart, 1968; Schwaller, 2006), o capitalizados para obtener una ventaja estratégica por parte de los tecnológicamente más avanzados (Lewis, 1996; Klinger, 2017). El espacio ultraterrestre y sus infraestructuras terrestres podrían llegar a interpretarse erróneamente como un entorno "despolitizado" (Swyngedouw, 2011), pero este punto de vista despoja al Universo de su potencial para ser instrumentalizado como herramienta para la garantía de los intereses estratégicos nacionales, tal como lo vienen abordando con renovado vigor las presidencias de Donald Trump en Estados Unidos, Vladimir Putin en Rusia, Xi Jinping en China y Narendra Modi en India.

Entonces, los intereses geopolíticos en el espacio exterior se podrían llegar a definir como aquellas oportunidades para lograr: 1) la máxima libertad de acción; 2) el desarrollo completo de las capacidades espaciales y 3) el aprovechamiento de las posiciones geoestratégicas y de los recursos del espacio. Por ende, la esencia de la actividad en el espacio exterior es perseguir estos intereses, con los medios más rentables, a partir de opciones limitadas. La astropolítica sería, según este argumento, una lucha dinámica entre los Estados que buscan apoderarse de este nuevo entorno y organizarlo para que se adapte a sus propios intereses. En este sentido, la política y la tecnología espacial son herramientas indispensables para apoderarse de las posiciones geoestratégicas y los recursos en el espacio exterior, y de este modo satisfacer los objetivos políticos de los Estados. Las capacidades espaciales avanzadas no solo fortalecerían la seguridad relativa de estos Estados y sus esferas de influencia, sino

que también servirían como el instrumento clave para dominar este nuevo “teatro de operaciones”. Por ende, el objetivo de la política y las tecnologías espaciales se transformarían gradualmente a perseguir beneficios económicos y el bienestar social resultante de la utilización del espacio exterior, aunque estos cambios no han borrado por completo la importancia del uso de la seguridad en el espacio exterior. Nuevos tipos de amenazas, como el terrorismo y los problemas ambientales a nivel mundial, hacen que sea una tarea difícil para los Estados proteger su seguridad territorial. La avanzada tecnología del espacio exterior, como los sistemas de navegación y observación de la Tierra, pueden ayudar a los Estados a supervisar estas amenazas proteicas y desarrollar las capacidades de gestión necesarias para la garantía de la seguridad nacional.

Referencias

- Agnew, J. y Corbridge, S. (1995). *Mastering Space: Hegemony, Territory and International Political Economy*. London: Routledge.
- Al-Rodhan, N. (2012). *Meta-Geopolitics of Outer Space: An Analysis of Space Power, Security and Governance*. London: Palgrave Macmillan.
- Álvarez, C. (2017a). Ocupación de los espacios vacíos: una condición *sine qua non* para la seguridad multidimensional en Colombia. En Álvarez, C. (Ed.), *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá, D.C.: Esdegue, pp. 307-386.
- Álvarez, C. (2017b). Geopolítica vertical y la urbanización del conflicto. *Revista Ensayos Sobre Defensa y Seguridad*, 11, 11-48
- Álvarez, C., Santafé, G. y Urbano, O. (2017). Metamorphosis bellum: ¿Mutando a guerras de quinta generación? En Álvarez, C. (Ed.), *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá, D.C.: Esdegue, pp. 145-248.
- Álvarez, C., Moreno, A. y Gómez, J. (2017b). Respite aqua vitae: hacia una hidropolítica nacional. En Álvarez, C. (Ed.), *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá, D.C.: Esdegue, pp. 387-478.
- Álvarez, C., Ramírez, Y. y Castaño, G. (2018). Geografía, Estado y gran estrategia: una relación indisoluble. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds). *Hacia una gran estrategia en Colombia: construcción de política pública en seguridad y defensa*. Bogotá, D.C.: Esmic, pp. 81-148.
- Asamblea Nacional Constituyente (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá, D.C.: Imprenta Nacional.
- Ashworth, L. (2010). Realism and the Spirit of 1919: Halford Mackinder, Geopolitics and the Reality of the League of Nations. *European Journal of International Relations*, 17(2), 279-301.

- Ashworth, L. (2013). Mapping a New World: Geography and the Interwar Study of International Relations. *International Studies Quarterly*, 57(1), 138-149.
- Bassin, M. (2004). The Two Faces of Contemporary Geopolitics. *Progress in Human Geography*, 28(5), 619-632.
- Bate, R. (2000). *Low Earth Orbit Satellites (LEOs)*. New York: McGraw-Hill.
- Bate, R., Mueller, D. y White, J. (1971). *Fundamentals of Astrodynamics*. London: Dover Publications.
- Bille, M. y Lishock, E. (2004). *The First Space Race: Launching the World's First Satellites*. College Station: Texas A&M University.
- Bormann, N. y Sheehan, M. (2009). *Securing Outer Space*. Abingdon: Routledge.
- Brearley, A. (2006). Mining the Moon: Owning the Night Sky? *Astropolitics*, 4(1), 43-67.
- Brown, V. (2003). Spiritual Terror and Sacred Authority in Jamaican Slave Society. *Slavery & Abolition* 24(1), 24-53.
- Bull, H. (2002). *The Anarchical Society: A Study of Order in World Politics*. New York: Palgrave.
- Burchell, M. (2014). Human spaceflight and an Asteroid Redirect Mission: Why? *Space Policy*, 30(3), 163-169.
- Buzan, B. (1995). The Level of Analysis Problem in International Relations Reconsidered. En Booth, K. y Smith, S. (Eds.). *International Relations Theory Today*. Cambridge: Polity Press, pp. 198-216.
- Christianson, G. (2005). *Isaac Newton*. Oxford: Oxford University Press.
- Chun, C. (2006). *Defending space: US Anti-satellite Warfare and Space Weaponry*. New York: Osprey Publishing.
- Cohen, S. (2014). *Geopolitics: The Geography of International Relations*. Lanham: Rowman & Littlefield.
- Collins, J. (1989). *Military Space Forces: the Next 50 Years*. New York: Pergamon-Brassey.
- Corbett, J. (1911). *Some Principles of Maritime Strategy*. Annapolis: Naval Institute Press.
- Crone, P. y Hinds, M. (1986). *God's Caliph: Religious Authority in the First Centuries of Islam*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crotts, A. (2014). *The new Moon: Water, exploration and future habitation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dawson, L. (2017). *The Politics and Perils of Space Exploration: Who Will Compete, Who Will Dominate?* Washington: Springer Praxis Books.
- Dawson, L. (2018). *War in Space: The Science and Technology Behind Our Next Thea-*

- ter of Conflict*. Washington: Springer Praxis Books.
- De Seversky, A. (1941). *The Twilight of Seapower*. *American Mercury*, 52, 647-658.
 - De Seversky, A. (1942). *Victory Through Air Power*. New York: Simon & Schuster.
 - De Seversky, A. (1951). *Air Power: Key to Survival*. New York: McGraw-Hill.
 - Deudney, D. (2018). *Dark Skies: Space Expansionism, Planetary Geopolitics and the Ends of Humanity*. Oxford: Oxford University Press.
 - Dijkink, G. (1996). *National Identity and Geopolitical Visions: Maps of Pride and Pain*. London: Routledge.
 - Doboš, B. (2019). *Geopolitics of the Outer Space: A European Perspective*. Prague: Springer.
 - Dodds, K. y Atkinson, D. (2000). *Geopolitical Traditions: A Century of Geopolitical Thought*. London: Routledge.
 - Dolman, E. (1999). Geostrategy in the Space Age: An Astropolitical Analysis. *The Journal of Strategic Studies*, 22(3), 83-106.
 - Dolman, E. (2005). *Atropolitik: Classical Geopolitics in the Space Age*. London: Frank Cass Publishers.
 - Donnelly, J. (2000). *Realism and International Relations*. Cambridge: Cambridge University Press.
 - Douhet, G. (1942). *The Command of the Air*. New York: Coward McCann.
 - Drake, N. (2019). *Enviemos al espacio solo a las mujeres*. *National Geographic en Español*, 45(1), 15-18.
 - Dudley, M. y Gangale, T. (2012). Forecasting the Political Economy of the Inner Solar System. *Astropolitics*, 10(3), 183-233.
 - Dussouy, G. (2010). Systemic Geopolitics: A Global Interpretation Method of the World. *Geopolitics*, 15(1), 133-150.
 - Fettweis, C. (2015). On Heartlands and Chessboards: Classical Geopolitics Then and Now. *Orbis*, 59(2), 233-248.
 - Fox, K. (2002). *The Big Bang Theory: What It Is, Where It Came From, and Why It Works*. New York: John Wiley & Sons.
 - Froehlich, A. (2019). *Space Security and Legal Aspects of Active Debris Removal*. Vienna: European Space Policy Institute.
 - Gerace, M. (1991). Between Mackinder and Spykman: Geopolitics, Containment and after. *Comparative Strategy*, 10(4), 347-364.
 - Glassner, M. (1996). *Political Geography*. New York: Wiley.
 - Gordis, L. (2003). *Opening Scripture: Bible Reading and Interpretive Authority in Puritan New England*. Chicago: University of Chicago Press.
 - Graham, S. (2004). Vertical Geopolitics: Baghdad and After. *Antipode*, 36(1), 12-23.

- Gray, C. (1988). *The Geopolitics of Superpower*. Lexington: University of Kentucky Press.
- Gray, C. (2004). In Defense of the Heartland: Sir Halford Mackinder and His Critics a Hundred Years On. *Comparative Strategy*, 23(1), 9-25.
- Gray, C. (2015). Nicholas John Spykman, the Balance of Power and International Order. *Journal of Strategic Studies*, 38(6), 873-897.
- Gray, C. y Sloan, G. (1999). *Geopolitics, Geography and Strategy*. London: Frank Cass Publishers.
- Grygiel, J. (2006). *Great Powers and Geopolitical Change*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Guzzini, S. (1998). *Realism in International Relations and International Political Economy*. London: Routledge.
- Harrison, T., Johnson, K. y Roberts, T. (2019). *Space Threat Assessment 2019*. Washington: Center for Strategic & International Studies.
- Haslam, J. (2013). *No Virtue Like Necessity: Realist Thought in International Relations since Machiavelli*. New Haven: Yale University Press.
- Haushofer, K. (1975). *Poder y espacio*. Buenos Aires: Pleamar.
- Hepple, L. (1986). The Revival of Geopolitics. *Political Geography Quarterly*, 5(4), 21-36.
- Heiken, G., Vaniman, D. y French, B. (1991). *The Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Holdar, S. (1992). The Ideal State and the Power of Geography the Life-Work of Rudolf Kjellén. *Political Geography*, 11(3), 307-323.
- Hoyle, F. (1962). *Astronomy*. New York: Doubleday & Company.
- Hughes, R. y Heley, J. (2015). Between Man and Nature: The Enduring Wisdom of Sir Halford J. Mackinder. *Journal of Strategic Studies*, 38(6), 898-935.
- Johnson, J. y Erickson, A. (2006). The Emerging China-EU Space Partnership: A Geotechnological Balancer. *Space Policy*, 22(1), 12-22.
- Kaplan, R. (2015). The Revenge of Geography. *Orbis*, 59(4), 479-490.
- Kjellen, R. (1916). *Staten som Lifform*. Estocolmo: Hugo Gebers Förlag.
- Klein, J. (2004). Space Warfare: A Maritime-Inspired Space Strategy. *Astropolitics*, 2(1), 33-61.
- Klinger, M. (2017). *Rare Earth Frontiers: From Terrestrial Subsoils to Lunar Landscapes*. Ithaca: Cornell University Press.
- Klinger, J. (2018). A Brief History of Outer Space Cooperation Between Latin America and China. *Journal of Latin American Geography*, 17(2), 46-83.
- Kragh, H. (2007). *Conceptions of Cosmos, From Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology*. Oxford: Oxford University Press.

- Kristof L. (1960). The Origins and Evolution of Geopolitics. *Journal of Conflict Resolution*, 4(1), 15-51.
- Lane, K. (2011). *Geographies of Mars: Seeing and Knowing the Red Planet*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lewis, J. (1997). *Mining the Sky: Untold Riches from the Asteroids, Comets, and Planets*. New York: Helix Books.
- Lévy, J. (2000). A User's Guide to World-Spaces. *Geopolitics*, 5(2), 67-84.
- Lévy, J. (2003). Balances and Balancing: Concepts, Propositions, and Research Design. En Vásquez, J. y Elman, C. (Eds.). *Realism and the Balancing of Power: A New Debate*. New Jersey: Prentice Hall, pp. 128-153.
- Lévy, J. (2004). What Do Great Powers Balance Against and When? En Paul, T., Wirtz, J. y Fortmann, M. (Eds.). *Balance of Power: Theory and Practice in the 21st Century*. Stanford: Stanford University Press, pp. 29-51.
- Lévy, J. (2012). Interstate War and Peace. En Carlsnaes, W., Risse, T. y Simmons, B. (Eds.). *Handbook of International Relations*. London: SAGE Publications, pp. 581-606.
- Lewis, J. (1996). *Mining the Sky: Untold Riches from the Asteroids, Comets, and Planets*. United States: John S. Lewis.
- List, F. (1909a). *The National System of Political Economy*. London: Longmans.
- List, F. (1909b). Outlines of American Political Economy. En Hirst, M. (Ed.). *Life of Friedrich List and Selected Writings*. London: Smith, pp. 145-272.
- List, F. (1909c). Introduction to the National System. En Hirst, M. (Ed.). *Life of Friedrich List and Selected Writings*. London: Smith, pp. 287-318.
- List, F. (1983). *The Natural System of Political Economy*. London: Frank Cass.
- Lonsdale, D. (1999). Information Power: Strategy, Geopolitics, and the Fifth Dimension. *Journal of Strategic Studies*, 22 (2-3), 137-157.
- MacDonald, F. (2007). Anti-Astropolitik: Outer Space and the Orbit of Geography. *Progress in Human Geography*, 31(5), 592-615.
- Machiavelli, N. (1531). *The Prince*. Indianapolis: Hackett Publishing Company (reed. 1995).
- Mackinder, H. (1902). *Britain and the British Seas*. Oxford: Clarendon Press.
- Mackinder, H. (1904). The Geographical Pivot of History. *The Geographical Journal*, 23(4), 421-444.
- Mackinder, H. (1943). The Round World and the Winning of Peace. *Foreign Affairs*, 21(4), 595-605.
- Mackinder, H. (1962). *Democratic Ideals and Reality: A Study in the Politics of Reconstruction*. New York: W.W. Norton.
- MacLachlan, J. (1997). *Galileo Galilei: First Physicist*. Oxford: Oxford University Press.

- Mahan, A. (1890). *The Influence of Sea Power upon History 1660-1783*. Boston: Little Brown.
- Mahan, A. (1892). *The Influence of Sea Power upon the French Revolution and Empire, 1783-1812*. Boston: Little Brown.
- Mahan, A. (1897). *The Life of Nelson: The Embodiment of the Sea Power of Great Britain*. Boston: Little Brown.
- Mahan, A. (1905). *Sea Power in Its Relations to the War of 1812*. Boston: Little Brown.
- Marshall, S. (2001). *The Mandate of Heaven: Hidden History in the I-Ching*. New York: Columbia University Press.
- McAnany, P. (2001). Cosmology and the Institutionalization of Hierarchy in the Maya Region. En Hass, J. (Ed.). *From Leaders to Rulers*. Boston: Springer, pp. 125-148.
- Mendenhall, E. (2018). Treating Outer Space Like a Place: A Case for Rejecting Other Domain Analogies. *Astropolitics*, 16(2), 97-118.
- Messeri, L. (2016). *Placing Outer Space and Earthly Ethnography of Other Worlds*. Durham: Duke University Press.
- Mitchell, W. (1925). *Winged Defense: The Development and Possibilities of Modern Air*. Alabama: The University of Alabama Press.
- Morton, O. (2019). *The Moon: A History for the Future*. New York: Hachette Book Group.
- Monod, P. (1999). *The power of kings: Monarchy and religion in Europe, 1589-1715*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Murphy, D. (1997). *The Heroic Earth: Geopolitical Thought in Weimar Germany, 1918-1933*. Kent: Kent State University Press.
- Okutsu, M. (2015). Low-Thrust Roundtrip Trajectories to Mars with One-Synodic-Period Repeat Time. *Acta Astronautica*, 110, 191-205.
- Olson, V. (2012). Political Ecology in the Extreme: Asteroid Activism and the Making of an Environmental Solar System. *Anthropological Quarterly*, 85(4), 1027-1044.
- Osterud, O. (1988). The Uses and Abuses of Geopolitics. *Journal of Peace Research*, 25(2), 191-200.
- Ó Tuathail, G. (1996). *Critical Geopolitics: The Politics of Writing Global Space*. London: Routledge.
- Ó Tuathail, G., Dalby, S. y Routledge, P. (1998). *The Geopolitics Reader*. London: Routledge.
- Owens, M. (2015). In Defense of Classical Geopolitics. *Orbis*, 59(4), 469-473.
- Parker, G. (1985). *Western Geopolitical Thought in the Twentieth Century*. London: St. Martin's Press.
- Parker, G. (1991). Continuity and Change in Western Geopolitical thoughts During

- the 20th Century. *International Social Science Journal*, 43(127), 21-34.
- Parker, G. (1998). *Geopolitics: Past, Present and Future*. London: Pinter.
 - Parks, L. (2005). *Cultures in Orbit: Satellites and the Televisual*. Durham: Duke University Press.
 - Peoples, C. (2008). Assuming the Inevitable? Overcoming the Inevitability of Outer Space Weaponization and Conflict. *Contemporary Security Policy*, 29(3), 502-520.
 - Perryman, M. (2010). *The Making of History's Greatest Star Map*. New York: Springer.
 - Potter, C. (2009). *You Are Here: A Portable History of the Universe*. New York: Harper-Collins.
 - Prescott, J. (1968). *The Geography of State Policies*. London: Hutchinson University Library.
 - Rafie, F. (2005). Quasi-Quantization of the Orbits in the Solar System. *Astronomical & Astrophysical Transactions*, 24(2), 81-92.
 - Ratzel, F. (1903). *Politische Geographie*. Munich: Oldenbourg.
 - Roberts, T. (2019). *Spaceports of the World*. Washington: Center for Strategic & International Studies.
 - Rodríguez, E. (2006). Nuestro derecho al espacio: la órbita geoestacionaria: ¿una frustrada regulación? *Elementos de Juicio Temas Constitucionales*, (2), 51-85.
 - Rukl, A. (2004). *Atlas of the Moon*. Cambridge: Sky Publishing Corporation.
 - Russell, G. (2006). Alfred Thayer Mahan and American Geopolitics: The Conservatism and Realism of an Imperialist. *Geopolitics*, 11(1), 119-140.
 - Schwaller, J. (2006). The Ilhuica of the Nahua: Is Heaven Just a Place? *The Americas*, 62(3), 391-412.
 - Sellers, J., Astore, W., Giffen, R. y Larson, W. (2004). *Understanding Space: An Introduction to Astronautics*. New York: McGraw Hill.
 - Sempa, F. (2002). *Geopolitics: From the Cold War to the 21st Century*. New Brunswick: Transaction Publishers.
 - Shariff, A. y Norenzayan, A. (2011). Mean Gods Make Good People: Different Views of God Predict Cheating Behavior. *International Journal for the Psychology of Religion*, 21(2), 85-96.
 - Sloan, G. (2017). *Geopolitics, Geography and Strategic History*. London: Routledge.
 - Smart, N. (1968). The Concept of Heaven. *Royal Institute of Philosophy*, 2, 226-238.
 - Soares, J., Epiphânio, J. y Gilberto, C. (2009). *CBERS-2B for Africa*. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
 - Sommariva, A. (2015). Rationale, Strategies, and Economics for Exploration and Mining of Asteroids. *Astropolitics*, 13(1), 25-42.

- Spence, J. (1988). *Emperor of China: Self-Portrait of K'ang-Hsi*. New York: Vintage Books.
- Spudis, P. (2009). The Moon: Point of Entry to Cislunar Space. En Lutes, C. y Hays, P. (Eds.). *Toward the Theory of Spacepower: Selected Essays*. Washington: Institute for National Strategic Studies, pp. 238-248.
- Spudis, P. (2016). *The Value of the Moon*. Washington: Smithsonian Books.
- Spykman, N. (1942). *America's Strategy in World Politics*. New York: Harcourt, Brace & Co.
- Spykman, N. (1944). *The Geography of the Peace*. New York: Harcourt Brace & Co.
- Stares, P. (1985). *The Militarization of Space: U.S. policy 1945-1984*. Ithaca: Cornell University Press.
- Stuster, J. (2012). Acceptable Risk: The Human Mission to Mars. En Zubrin, R., Levine, J. y Davies, P. (Eds.). *Colonizing Mars: The Human Mission to the Red Planet*. Cambridge: Cosmology Science Publishers, pp. 14-19.
- Sumida, J. (1999). Alfred Thayer Mahan: Geopolitician. *Journal of Strategic Studies*, 22(2), 39-62.
- Swyngedouw, E. (2011). Depoliticized Environments: The End of Nature, Climate Change and the Post-political Condition. *Royal Institute of Philosophy*, 69, 253-274.
- van der Wusten, H. y Dijkink, G. (2000). German, British and French Geopolitics: The Enduring Differences. *Geopolitics*, 7(3), 19-38.
- Walton, C. (2007). *Geopolitics and the Great Powers in the 21st Century*. Abingdon: Routledge.
- Waltz, K. (1979). *Theory of International Politics*. Reading: Addison-Wesley.
- Wang, S. (2009). The Making of New "Space": Cases of Transatlantic Astropolitics. *Geopolitics*, 14(3), 433-461.
- Wang, S. (2013). *Transatlantic Space Politics: Competition and Cooperation Above the Clouds*. Abingdon: Routledge.
- Warden, J. (1995). The Enemy as a System. *Airpower Journal*, 9(1), 38-52.
- Warden, J. (1998). *The Air Campaign: Planning For Combat*. Washington: National Defense University Press.
- Wells, H. (1902). *Anticipations of the Reaction of Mechanical and Scientific Progress Upon Human Life and Thought*. New York: Harper.
- Weizman, E. (2007). *Hollow Land: Israel's Architecture of Occupation*. London: Verso.
- Whittlesey, D. (1942). *German Strategy of World Conquest*. New York: Farrar & Rinehart.
- Wilhelms, D. (1987). *The Geologic History of the Moon. US Geological Survey Professional Paper 1348*. Washington: US Government Printing Office.

- Williams, A. (2007). Hakumat al Tayarrat: The Role of Air Power in the Enforcement of Iraq's Borders. *Geopolitics*, 12(3), 505-528.
- Williams, A. (2010). A Crisis in Aerial Sovereignty? Considering the Implications of Recent Military Violations of National Airspace. *Area*, 42(1) 51-59.
- Wingo, D. (2009). Economic Development of the Solar System: The Heart of a 21st Century Spacepower Theory. En Lutes, C. y Hays, P. (Eds.). *Toward the Theory of Space Power: Selected essays*. Washington: Institute for National Strategic Studies, pp. 150-174.
- Woolfson, M. (2000). *The Origin and Evolution of the Solar System*. Bristol: University of York Press.
- Zubrin, R. (1996). *The Case for Mars: The Plan to Settle the Red Planet and Why We Must*. New York: Touchstone.
- Zubrin, R. (2009). Victory from Mars. En Lutes, C. y Hays, P. (Eds.). *Toward the Theory of Space Power: Selected essays*. Washington: Institute for National Strategic Studies, pp. 228-237.



CAPÍTULO III

EL ESPACIO ULTRATERRESTRE Y EL DERECHO INTERNACIONAL*

Carlos Enrique Álvarez Galderón
CR. Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez

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

1. Introducción

El poder es necesario para lograr los propósitos y llevar a cabo la voluntad propia, incluso a pesar de la resistencia que acompaña cualquier esfuerzo estratégico. En el caso de los Estados Unidos, el poder proviene de sus instrumentos nacionales, es decir, de un conjunto de medios o recursos que dicho Estado utiliza por medio de estrategias para alcanzar su estado final deseado; por ende, tales instrumentos de poder nacional incluirían aspectos como el militar, la diplomacia, la información y la economía (Farlin, 2014; Worley, 2015). En este orden de ideas, alcanzar y mantener una postura de seguridad nacional satisfactoria implicaría todos los instrumentos del poder nacional, aunque no necesariamente se deba tener superioridad en todos ellos al mismo tiempo.

Con base en lo anterior, el espacio exterior se ha consolidado, desde mediados del siglo XX, como una fuente importante de poder nacional para los Estados. En efecto, el inicio de la carrera espacial significó un cambio en el paradigma sobre los medios que podían ser empleados para alcanzar los intereses nacionales, ya que a partir del lanzamiento del *Sputnik I* en 1957, el interés militar por emplear la tecnología espacial para apoyar las estrategias de defensa de potencias como los Estados Unidos y la Unión Soviética, se constituiría como un factor predominante. Pero sin dejar de lado la importancia que significaría aún en el presente la proyección del poder militar en el espacio, existió también en aquel momento un particular afán por establecer las reglas de juego que regirían el actuar de los Estados en el espacio ultraterrestre. En consecuencia, los tratados internacionales que corresponderían al elemento diplomático del poder nacional, fueron entonces el principal motivo de discusión en la dinámica bipolar entre las superpotencias de la Guerra Fría, que deseaban establecer un conjunto de leyes antes de que el hombre llegara a la Luna (Vlasic, 1967), un objetivo común para ambos Estados.

Como consecuencia de aquel momento histórico, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), por medio de la Comisión del Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre (COPUOS), aprobaría cinco tratados con carácter vinculante entre 1967 y 1984, conocidos como el cuerpo del derecho espacial. Estos tratados se han desarrollado fundamentalmente alrededor de cuatro principios: en primer lugar, la no apropiación del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes; en segunda instancia, el beneficio para toda la humanidad como resultado de las actividades espaciales; como tercera premisa, la cooperación internacional; y por último, el uso pacífico del espacio exterior. El contenido de dichos tratados fue, por tanto, un reflejo de las realidades políticas del momento que buscaban establecer un orden a los alcances infinitos del espacio cósmico (Schick, 1964), en los cuales estarían satisfechos en primer lugar los intereses de quienes en aquel momento dominaban absolutamente la tecnología, y con ello, podían influenciar la elaboración de dicho marco normativo.

Cincuenta años después de que el primer tratado fuera puesto a disposición para la firma de los Estados miembros de la COPUOS, Colombia solamente ha ratificado dos de los cinco existentes (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre, -UNOOSA- 2017b), pese a que todos ellos han sido firmados por parte del Estado colombiano, prácticamente al momento de ser emitidos. Como lo afirma el doctor Alfredo Rey Córdoba (A., Rey comunicación personal, 17 de mayo de 2017), esta apatía jurídica en un país en el que usualmente las leyes internacionales tienen una importancia mayúscula, estaría ligada al desconocimiento sobre la importancia que tiene el derecho espacial para los intereses de país; y los efectos de esta situación van desde los asuntos internos hasta el ámbito de la política internacional.

Desde lo doméstico, tal desconocimiento podría ser un factor determinante para que Colombia todavía carezca de una política espacial nacional, y por consiguiente, de algún nivel de adelanto tecnológico en la pirámide del desarrollo espacial que proponen Leloglu y Kocaoglan (2008), provocando una absoluta dependencia tecnológica de otros Estados para la provisión de servicios en seguridad y defensa con base en activos espaciales, así como la ausencia de un ecosistema económico a partir de bienes o servicios del sector. En cuanto a lo internacional, las discusiones que actualmente se llevan a cabo en la COPUOS con relación a los retos derivados de la democratización del espacio y su efecto en el régimen jurídico actual (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2018), carecen de la relevancia correspondiente en la agenda, lo que significaría que Colombia está a merced de las decisiones que otros Estados tomen,

colocando en riesgo aspectos como el acceso y la explotación del espacio exterior de forma autónoma.

El principio fundamental del derecho espacial que señala la no apropiación del espacio ultraterrestre, la Luna y otros cuerpos celestes por parte de ningún Estado, sirve como sustento para establecer que, de acuerdo con el contexto particular de Colombia, el espacio exterior puede considerarse como un "espacio vacío", en el que la ausencia de presencia estatal puede tener consecuencias irreversibles para la seguridad multidimensional del país, como lo afirma Álvarez (2017, p. 310), "los espacios vacíos van más allá de los enclaves territoriales, ya que en un sentido más amplio, son dominios tangibles e intangibles en los cuales la autoridad de un Estado no llega a extenderse".

Existe pluralidad de conceptos sobre lo que debería entenderse como el derecho espacial; sin embargo, habría un consenso entre los autores al coincidir en que éste forma una rama separada del derecho internacional. Según Lachs (1964)¹, el derecho espacial es

el derecho destinado a regular las relaciones entre los Estados para determinar sus derechos y deberes resultantes de todas las actividades dirigidas hacia el espacio exterior y dentro de él, y hacerlo en interés de la humanidad en su conjunto, para ofrecer protección a la vida terrestre y no terrestre, donde quiera que exista (p. 33).

Para Lyall y Larsen (2016), el derecho espacial comprende toda la ley que puede regirse o aplicarse al espacio exterior y las actividades relacionadas con el mismo, mientras que Tronchetti (2013) ofrece por su parte una definición mucho más amplia sobre el tema:

El término "derecho del espacio" se utiliza con referencia al conjunto de normas y reglamentos internacionales y nacionales que rigen las actividades humanas en y en relación con el espacio ultraterrestre. El objetivo del derecho espacial es establecer un entorno jurídico para permitir el logro de objetivos e intereses comunes relacionados con la exploración y uso del espacio exterior; al mismo tiempo, tiene como objetivo prevenir la aparición de tensiones y conflictos entre los sujetos involucrados en las actividades del espacio exterior (p. viii).

Esta definición permite establecer que el derecho espacial tiene tres áreas principales: su alcance, su fragmentación y su naturaleza evolutiva. Su alcance no solo se refiere a las actividades realizadas en el espacio exterior, sino a cualquiera que tenga

1. Manfred Lachs fue un escritor, educador, diplomático y jurista polaco que influyó profundamente en el desarrollo del Derecho Internacional en la posguerra; particularmente el derecho espacial.

relación con éste. La fragmentación alude a que no existe un solo documento que contenga toda la normatividad y, por tanto, su aplicación se realiza por la unión de todas las normas existentes. Y su naturaleza evolutiva radica en que busca regular una tecnología que está en constante desarrollo, por lo que requiere revisión progresiva.

Como se mencionó anteriormente, el interés sobre la necesidad de una normatividad para regular las actividades de los Estados en el espacio exterior vería su mayor actividad en la época posterior al fin de la Segunda Guerra Mundial, en donde los aspectos de seguridad nacional de la Guerra Fría acaparaban la agenda internacional. Esto implicaría que el derecho espacial es un campo relativamente nuevo, y que debido al contexto en el que se desarrolló, tiene provisiones que favorecen ampliamente a los Estados con mayor desarrollo económico y militar. Por ello, para comprender la naturaleza del derecho espacial, se abordan inicialmente las circunstancias históricas que influenciaron el pensamiento de quienes tuvieron a su cargo la elaboración de los tratados del espacio; posteriormente, se revisa brevemente la estructura del derecho espacial, abordando sus fuentes y las similitudes con otras ramas del derecho internacional. Y por último, se realiza un recuento de la participación de Colombia en el ámbito internacional con relación al derecho espacial, y a partir de allí se identifican los desafíos que representa para la seguridad multidimensional del país.

2. Antecedentes del Desarrollo del Derecho Espacial

En los años anteriores al estallido de la Segunda Guerra Mundial, se lograron avances significativos en tecnología espacial en países como Alemania, la Unión Soviética y los Estados Unidos; sin embargo, fue durante dicho evento bélico y después del mismo, que estos avances alcanzaron escalas enormes como para convertirse en una preocupación (Von der Dunk, 2015); tanto así, que los primeros documentos formales sobre la regulación de las actividades espaciales fueron originados por investigaciones académicas que pretendían anticipar cómo sería la interacción de los Estados a partir de los avances tecnológicos espaciales. En este sentido, Diederiks y Kopal (2008) señalan como pioneros del derecho espacial al Príncipe de Hanover Wolf Heinrich, quien en 1953 presentó en la Universidad de Gotinga, su tesis doctoral titulada *Luf-trecht und Weltraum*² y al profesor A. Meyer, quien en 1952 manifestaba lo siguiente: *“les problèmes juridiques qui probablement seront créés avec le développement de l’exploration de l’espace peuvent être prévus déjà aujourd’hui malgré que jusqu’à*

2. Derecho del aire y el espacio.

maintenant aucun engin avec équipage ne soit entrée dans l'espace".³ Estos escritos se hicieron más numerosos a medida que avanzaba la década de 1950 y se acercaba el Año Geofísico Internacional de 1958, en el que "un número creciente de autores como John Cobb Cooper, Rolando Quadri, Charles Chaumont, Nicolas Matte, Eugene Pépin y otros, abogaban por la regulación legal de este problema" (Von der Dunk, 2015, p. 2).

La principal preocupación de aquellos primeros días giraba en torno a la aplicación del concepto de "soberanía", vigente en el derecho del mar y en el para entonces joven derecho aéreo y, en cómo este concepto de soberanía podría aplicarse a las inminentes actividades espaciales. Los intereses militares jugaban un rol primordial en toda esta discusión, hasta el punto que la Fuerza Aérea de los Estados Unidos influyó exitosamente en las decisiones de su gobierno, sugiriendo que ninguna acción fuese tomada al respecto; que fuesen las actividades espaciales mismas y la aceptación de la costumbre derivada de ellas, las que primaran sobre los teóricos que buscaban desarrollar una nueva rama del derecho internacional (Terrill, 1999).

El momento en que todo esto ocurría no podría ser peor en términos de las relaciones internacionales. El realismo era la doctrina predominante y abogaba por que los actores principales del sistema internacional, los Estados, buscaran maximizar su poder, lo que significaría convertir el espacio en un escenario más de competencia estratégica, como ya lo eran los escenarios terrestres, marítimos y aéreos. En consecuencia, las reglas actuales y los patrones de actividad del espacio exterior se ajustarían en muchos aspectos a estas expectativas propias del realismo y el contexto de Guerra Fría. El derecho espacial es estado-céntrico; permite a los Estados una amplia discreción para iniciar, continuar, prescindir y definir todas las formas de actividad en el espacio exterior (Peterson, 1997). Así las cosas, era prácticamente imposible en aquel momento predecir si el espacio exterior se trataría como un área común o como algo que se "conquistaría" y se distribuiría entre los Estados que viajaran por él. Si las superpotencias hubieran acordado una de estas concepciones y el resto de los Estados la otra, la selección no hubiera significado ningún problema para la teoría realista, ya que las superpotencias simplemente podrían haber impuesto sus preferencias al acordarlas entre ellas y actuando en consecuencia.

Para los Estados Unidos, la evidente ventaja de la Unión Soviética en la conquista del espacio y en la construcción de misiles balísticos intercontinentales, los inclinaba a una posición en la que debían promover la imposición de restricciones al uso del

3. Los problemas jurídicos que probablemente serán creados con el desarrollo de la exploración espacial, pueden ser previstos hoy, a pesar de que a la fecha ningún vehículo ha logrado llegar al espacio.

espacio con fines militares, y de esta forma ralentizar el avance de los soviéticos. Sin embargo, estos últimos eran conscientes que esta supuesta ventaja era solo transitoria, y que por tanto, los Estados Unidos pronto podrían llegar al mismo nivel de desarrollo, con lo cual, cada superpotencia por su lado percibía la necesidad de abogar por un uso pacífico del espacio ultraterrestre (Peterson, 1997).

Esto no significa que hubiese sido una negociación sencilla. Las visiones de Estados Unidos y la Union Soviética eran diametralmente opuestas; como indica Peterson (1997), la posición de Estados Unidos era emplear las concepciones desarrolladas en el derecho del mar, mientras que la Union Soviética se inclinaba por favorecer la utilización de los principios consignados en el derecho aéreo. Ninguno de los dos tenía la fuerza diplomática suficiente para ganar este pulso, y cuando la imposición o la coerción no son posibles, los actores políticos deben recurrir a la negociación para lograr el compromiso de todos los Estados. La utilización del veto como método para tomar las decisiones que llevarían a la conformación del derecho espacial, tal y como sucede en el Consejo de Seguridad de la ONU, no era una opción viable, debido a que haría prácticamente imposible avanzar en las discusiones. Las mayorías tampoco eran vistas como algo útil, pues para lograr el compromiso de todos los países en el cumplimiento de los futuros tratados, era necesario que todos se sintieran tenidos en cuenta y las decisiones pudiesen ser vinculantes. La alternativa restante era realizar una negociación mediante un compromiso, o converger a través de la persuasión mutua en un consenso.

El derecho internacional está en permanente construcción, tiene un desarrollo progresivo, y uno de los productos de esa evolución es el consenso, que no se debe confundir ni con las mayorías ni con la unanimidad. Las mayorías requieren que la mitad más uno estén de acuerdo para tomar una decisión, mientras que la unanimidad busca que absolutamente todos estén de acuerdo. El consenso, por su parte, consiste en la no oposición, siendo un ejercicio de permanente negociación; así, el consenso se convertiría en el pilar fundamental del derecho espacial, pues como lo afirma Rey (A. Rey, comunicación personal, 17 de mayo de 2017), es el aporte más grande del derecho espacial al derecho internacional. Para Rey, el consenso se podría interpretar como un reparto equitativo de frustraciones, en el que cada Estado toma su parte de frustración en la negociación, con la meta de alcanzar un punto de encuentro en el que no exista oposición de las demás partes.

Como lo indica Von Der Dunk (2015), esta voluntad fue fundamental para la estructuración de un régimen legal, con limitaciones sustanciales para todos, especialmen-

te en lo que tenía que ver con las actividades militares en el espacio exterior. A partir de allí se configuró la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS) en el marco de la ONU. La COPUOS está conformada por dos subcomités, uno de asuntos técnicos y otro de asuntos legales. La función principal de estos subcomités es estudiar y recomendar a la COPUOS temas relacionados con las actividades espaciales, para que ésta, en asamblea general, los apruebe y presente ante la asamblea general de la ONU y que ella a su vez adopte las recomendaciones.

El derecho espacial no es rígido, es lo que se conoce como *soft law* (derecho blando), el cual evoluciona en la medida en que la tecnología lo hace, mediante normas generales, lógicas o principios, pero no en reglas. En lugar de redactar normas rígidas o de *hard law*, en el derecho espacial las normas se establecen de tal manera que cubran ese desarrollo tecnológico. Por ende, la COPUOS redactó durante sus primeros años declaraciones y resoluciones de la ONU, con considerable fuerza política y moral, pero sin un carácter legal vinculante, aunque podría, en parte o en su totalidad, considerarse que establecen normas de derecho internacional consuetudinario. Las más importantes de esas resoluciones fueron la Resolución 1721 (XVI) B de 1961, que postula el principio de registro de cualquier objeto espacial lanzado al espacio exterior, y la Resolución 1962 (XVIII) de 1963, calificada como la "Declaración de Principios", ya que logró un plan de régimen jurídico integral para el espacio exterior, que unos años después se transformó esencialmente en una convención vinculante, el Tratado del Espacio Ultraterrestre de 1967.

El rápido interés sobre el tema, permitía avanzar con relativa rapidez las discusiones. Si se compara con el derecho aéreo, la estructuración del derecho espacial redujo a la mitad el tiempo que tomó lograr el acuerdo entre los Estados parte. En este periodo transcurrido entre 1958 y 1984, se logró el desarrollo de cinco documentos vinculantes, entre tratados y convenciones, que abordarían diversos temas como la responsabilidad en caso de daños, la restitución de objetos lanzados al espacio y astronautas, para culminar con un documento sobre la Luna y otros cuerpos celestes. Luego de este periodo, la COPUOS apuntaría en gran medida a desarrollar aún más el derecho internacional del espacio por medio de las resoluciones de la ONU no vinculantes legalmente, esperando, por así decirlo, que a través de la práctica y la experiencia se convertirían en derecho internacional consuetudinario.

3. Corpus Juris Spatialis Internationalis

3.1 Paradigmas del Derecho Espacial

Cuando existe desconocimiento sobre un tema en particular, el uso de analogías con asuntos o fenómenos conocidos resulta de gran utilidad. El razonamiento por analogía se basa en la premisa básica de que cuando dos dominios de conocimiento (que pueden ser un tema o problema amplio, un conjunto de fenómenos o nuevas instancias de algunos problemas o fenómenos recurrentes), son significativamente similares, ambos pueden tratarse como ejemplos de la misma cosa o resultados del mismo proceso causal (Vosniadou y Ortony, 1989). En este orden de ideas, para la definición de un régimen aplicable a las actividades espaciales, particularmente en aquellos aspectos de delimitación, soberanía, registro y responsabilidad, y paso inofensivo, los Estados (especialmente las superpotencias) tomaron como punto de partida el derecho del mar y el derecho aéreo⁴.

Para la definición de una teoría sobre el poder espacial, los aspectos más problemáticos serían los referentes a la delimitación, soberanía, registro y responsabilidad, y paso inofensivo. En lo que concierne a la "delimitación", ésta buscaría responder la pregunta ¿dónde termina el espacio aéreo y dónde comienza el espacio ultraterrestre?, con el fin de establecer en qué punto de la atmósfera es aplicable cada uno de los regímenes legales. Con relación a lo anterior, existirían principalmente dos enfoques: el espacial y el funcional (Bittencourt, 2015; Dolman, 2002).

El espacial busca definir el límite con base en criterios matemáticos, según los cuales, el espacio comenzaría justo debajo de la mínima altitud en la cual un objeto puede ser mantenido en órbita; es decir, aproximadamente unos 83 km. de la superficie terrestre (Dolman, 2002, p. 115).

Sin embargo, la Convención de Chicago de 1944 (Convención de la Aviación Civil) (OACI, 1944), pese a no establecer un límite al espacio aéreo, ofrecería una luz sobre el límite entre espacio aéreo y espacio ultraterrestre, a partir de su definición de "aeronave". Según esta convención, una aeronave es toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra. De acuerdo con esto, el espacio ultraterrestre comenzaría más allá de la altitud máxima en la cual es posible el vuelo aerodinámico, es decir a unos 100 km. aproximadamente, en la llamada línea de Von Karman (Brünner y Soucek, 2011; Dolman, 2002). Estas diferencias entre el mismo enfoque son aún más confusas si se tiene en cuenta que el X-15 (un avión

4. Como se dijo anteriormente, Estados Unidos se inclinaba por el derecho del mar, mientras que la Unión Soviética consideraba que la opción más plausible era adoptar el derecho aéreo.

experimental), voló por encima de los 108 km. y en la práctica, el perigeo mínimo para los satélites es de 160 km. (Allgeier y Brown, 2011; Diederiks y Kopal, 2008).

Por otro lado, el enfoque funcional predica que la definición de una frontera entre el aire y el espacio es innecesaria o imposible de alcanzar debido a la diversidad de criterios anteriormente expuestos; en su lugar, para dirimir la discusión, se propone que el régimen legal de las actividades espaciales debe definirse tomando en consideración no el lugar en donde éstas se realizan, sino su naturaleza y propósito (Diederiks y Kopal, 2008). De acuerdo con esto, un objeto espacial desde el momento que es puesto en su vehículo de lanzamiento, debería estar regido por el derecho espacial y no por el del aire, aun cuando éste se encuentre a tan solo algunos metros por encima del nivel de mar. Esta misma consideración es aplicable para la re-entrada, y por tanto no debería existir violación del espacio aéreo durante el retorno de un objeto al espacio sin importar su trayectoria (Bittencourt, 2015).

El punto muerto creado por estas escuelas de pensamiento, continuaría contribuyendo al desarrollo de una situación contradictoria (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2017a): el espacio exterior representa el límite vertical de los territorios nacionales que, aunque son finitos, se extienden sobre la superficie de la Tierra hasta una altitud aún no definida (Bittencourt, 2015). De todas maneras, esto representa un problema en el futuro cercano, debido al desarrollo de vehículos comerciales que pueden utilizar tanto el aire como el espacio en su trayectoria de un punto a otro; este tipo de actividad no estaría cubierto bajo esta aproximación.

Para establecer si los Estados podrían ejercer soberanía sobre el espacio ultraterrestre, nuevamente el derecho del mar y el derecho del aire jugaron un papel importante; por ejemplo, el Convenio de Chicago de 1944, en sus artículos I y II indica lo siguiente:

Artículo 1.- Soberanía. Los Estados contratantes reconocen que todo Estado tiene soberanía plena y exclusiva en el espacio aéreo situado sobre su territorio.

Artículo 2.- Territorio. A los fines del presente Convenio se consideran como territorio de un Estado las áreas terrestres y las aguas territoriales adyacentes a ellas que se encuentren bajo la soberanía, dominio, protección o mandato de dicho Estado (OACI, 1944, p. 2).

Esto significa que la noción de “espacio aéreo soberano” estaría alineada con la definición marítima de las aguas territoriales, es decir, 12 millas náuticas aproxima-

damente hacia el exterior de la línea de costa (22 km.); por tanto, el espacio aéreo que queda fuera de esta línea se consideraría espacio aéreo internacional, tal y como sucede con la declaración de "aguas internacionales" que aparece en la legislación marítima. No obstante, esta definición difícilmente podría ser aplicada al espacio ultraterrestre, considerando que al proyectar líneas verticales infinitas del espacio aéreo, éste variaría a cada instante debido a la rotación de la Tierra.

Con respecto al "registro y responsabilidad", el uso de analogías entre los derechos del mar y del aire continuaba siendo valioso para establecer las provisiones apropiadas en el derecho espacial. En el derecho del mar, los Estados solo serían responsables de sus propias faltas, en particular por no haber cumplido con su obligación de controlar las actividades marítimas; por otro lado, en el derecho aéreo, la nacionalidad de una aeronave estaría en concordancia con su registro, por lo que a diferencia de la Convención sobre el Derecho del Mar (en donde no se requiere un vínculo genuino entre uno y otro), corresponde a los Estados contratantes definir en sus respectivas leyes nacionales las condiciones para registro de una aeronave (Brünner y Soucek, 2011). Por ende, en materia de derecho del espacio, los Estados son directamente responsables de sus actividades y de las que realicen entidades privadas registradas según sus leyes nacionales.

Finalmente, y con relación al "derecho de paso inofensivo", tal paso implicaría una relación importante entre soberanía y territorio. El derecho aeronáutico permite el paso inofensivo de aeronaves sobre el espacio aéreo soberano, mientras que en la Convención del Mar está permitido cuando no sea perjudicial para la paz, el buen orden o la seguridad del Estado ribereño. Con base en lo anterior, los derechos de paso son necesarios en el derecho espacial, teniendo en cuenta aspectos técnicos que limitan la trayectoria que deben describir los objetos en camino al espacio exterior o durante su reentrada a la atmósfera terrestre.

3.2 Tratados del Derecho Espacial

3.2.1 Tratado Sobre Los Principios que Deben Regir Las Actividades de Los Estados en La Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre, Incluso La Luna y Otros Cuerpos Celestes de 1967

El Tratado del Espacio o de los Principios, como es conocido comúnmente, es un esfuerzo por salvaguardar la paz, la seguridad y proteger el medio espacial para las generaciones actuales y futuras en concordancia con los principios de la Carta de las Naciones Unidas. Representa lo más fundamental de los tratados espaciales y, por tanto, la base de todo el derecho espacial. “El proceso de preparación del Tratado del Espacio comenzó el 16 de junio de 1966, cuando los Estados Unidos y la Unión Soviética presentaron a la ONU sus propuestas iniciales” (Vlasic, 1967, p. 510). Para Vlasic, los dos proyectos se basaron en gran medida en los principios contenidos en la Declaración de Principios Jurídicos que debe regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre de 1966, y la Resolución 1884 de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en la que se insta a los Estados a no poner en órbita alrededor de la Tierra ningún objeto portador de armas nucleares u otras clases de armas de destrucción masiva. “Aunque en su génesis este acuerdo se limitaría a la regulación de las interacciones en los cuerpos celestes, en el proceso de negociación, se convirtió en un documento con un alcance mucho más amplio” (Vlasic, 1967, p. 511). Las cláusulas más importantes del tratado se refieren a las libertades básicas del espacio ultraterrestre y los cuerpos celestes, la prevención de la carrera armamentista en el espacio ultraterrestre y las medidas para garantizar la realización segura y ordenada de las actividades espaciales. Este capítulo no pretende realizar un análisis exhaustivo del contenido del tratado, por lo cual solo se discutirán brevemente a continuación los principios más relevantes del mismo.

El artículo I atribuye a los Estados Partes el derecho de libre exploración y utilización del espacio exterior, así como la libertad de llevar a cabo investigaciones científicas (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002). Este artículo señala expresamente que la exploración y el uso del espacio exterior, incluida la Luna y otros cuerpos celestes, se llevarán a cabo “para el beneficio y en interés de todos los países, independientemente de su grado de desarrollo económico y científico, e incumben a toda la humanidad” (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos

del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002, p. 4). Esta disposición dilucida la filosofía que se encuentra en el núcleo del derecho espacial, según a la cual todos los países, de una manera u otra, se beneficiarán de la exploración y el uso del espacio exterior, independientemente de su grado de desarrollo. Un ejemplo de esto sería el apoyo que los Estados con capacidades espaciales proveen a los países afectados por algún desastre natural y que no poseen su propia tecnología espacial para cubrir sus necesidades.

Los términos de este artículo deben leerse en relación con los del Artículo III, en el cual se establece que las actividades espaciales se llevarán a cabo de conformidad con el derecho internacional y, en particular, la Carta de las Naciones Unidas, con el fin de mantener la paz y la seguridad internacionales y promover el cooperación y comprensión. Este artículo tiene entonces una relevancia mayúscula porque aclara que, aunque las actividades espaciales tienen lugar fuera de los límites de la Tierra, no deben violar principios del derecho internacional (Tronchetti, 2013).

El artículo II incorpora el principio básico del derecho espacial de no apropiación. Según éste, el espacio exterior, incluida la Luna y otros cuerpos celestes, no está sujeto a apropiación nacional por reclamo de soberanía, por medios de uso u ocupación o por cualquier otro mecanismo. Esto significa que el concepto "soberanía" no es aplicable en el espacio exterior y, por consiguiente, los Estados tienen prohibido apropiarse de él en cualquiera de sus partes.

El artículo IV es la única disposición del tratado que aborda específicamente la problemática de las actividades militares en el espacio exterior. De alguna manera, en un alcance muy corto, solo establece una desmilitarización parcial del espacio ultraterrestre, ya que

las Partes tienen prohibida la ubicación en órbita alrededor de la Tierra de cualquier objeto portador armas nucleares o cualquier otra arma de destrucción masiva, así como su emplazamiento en cuerpos celestes, o colocar tales armas en el espacio exterior de cualquier otra manera (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002, p. 4).

No obstante, deja abierta la posibilidad para la colocación en el espacio exterior de otros tipos de armas, como las anti-satélite, satélites espía, o el tránsito de misiles antibalísticos y cohetes (Chatterjee, 2014).

El artículo V discute la asistencia que se dará a los astronautas en caso de accidentes, peligro o aterrizaje de emergencia en el territorio de otros Estados o en altamar. Los términos de este artículo se desarrollaron completamente en el Acuerdo de Rescate y Devolución de 1968.

El artículo VI establece el “principio de responsabilidad internacional de los Estados para las actividades espaciales nacionales, ya sea que sean realizadas por agencias gubernamentales o por organizaciones no gubernamentales” (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002, p. 5); en consecuencia, los Estados deben autorizar y supervisar continuamente las actividades espaciales de sus entidades no gubernamentales (Dempsey, 2014), al implementar legislaciones espaciales nacionales, de tal suerte que se cumplan los lineamientos de este artículo, en especial para regular adecuadamente la participación de entidades públicas y privadas en las operaciones espaciales.

Los artículos VII y VIII contienen normas sobre la responsabilidad por daños, así como la jurisdicción y el control sobre los objetos espaciales, a partir de los cuales se desarrollaron el Convenio de Responsabilidad Civil de 1972 y el Convenio de Registro de 1975. La relevancia de estos artículos proviene de la creación de la figura jurídica de “Estado de lanzamiento”, que según el artículo VII, es internacionalmente responsable por los daños causados por su objeto espacial a otro Estado Parte o a personas naturales o jurídicas, mientras que el artículo VIII dispone que los Estados conservan la jurisdicción y el control sobre los objetos espaciales que hayan registrado.

El artículo IX es el único del tratado que aborda, aunque de manera un tanto vaga, las cuestiones ambientales. Según se enuncia en este artículo, los Estados Partes evitarán la contaminación nociva del medio ambiente del espacio exterior, así como los cambios adversos en el medio ambiente de la Tierra que podrían ser causados por la introducción de material extraterrestre. Además, establece que los Estados Partes deben emprender consultas previas a las actividades espaciales que se consideren de naturaleza peligrosa. Los artículos del X al XVII contienen provisiones sobre la cooperación internacional, el intercambio de información y entrada en vigor, modificación y retirada del tratado.

3.2.2 Acuerdo Sobre El Salvamento y La Devolución de Astronautas y La Restitución de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre de 1968

Este tratado surge casi simultáneamente con el de los principios y fue presentado por Estados Unidos, que tenía un gran interés por lo que pudiera pasar con sus astronautas del programa *Apollo*. La actividad espacial apenas estaba comenzando, pero como ya no se trataba solamente de enviar objetos al espacio exterior, sino también misiones tripuladas, la COPUOS define el tratado de la siguiente manera (A. Rey, comunicación personal, 17 de mayo de 2017): es un tratado muy sencillo, que recurre

al principio de cooperación internacional para proteger la vida de los astronautas, a quienes reconoce como enviados de toda la humanidad, una definición necesaria para garantizar su protección y el compromiso de todos los Estados Parte sin importar su orientación ideológica; está más orientado a los eventos de la actividad espacial que ocurran en la Tierra, ya que los que se sucedan en el espacio no son abordados básicamente por la dificultad tecnológica de brindar asistencia en el mismo. De igual manera, el tratado no hace referencia a los beneficios o trato que puedan tener viajeros al espacio que no gocen del estatus de astronauta, como se ha visto recientemente con la presencia de turistas en el espacio (Tronchetti, 2013).

3.2.3 Convenio Sobre La Responsabilidad Internacional por Daños Causados por Objetos Espaciales de 1972

Durante los primeros años de la carrera espacial, la mayoría de su tecnología se encontraba en etapa de desarrollo y, en consecuencia, era muy posible que ocurrieran daños durante los lanzamientos o en órbita. Este tratado desarrolla el artículo VII del Tratado del Espacio, proveyendo una mayor claridad sobre términos básicos como "objeto espacial", "daño" y "Estado de lanzamiento"; también responde a las preguntas de qué tipo de régimen de responsabilidad es aplicable en caso de daño y cuál es el procedimiento a seguir en ese evento (Tronchetti, 2013). A este respecto, el convenio hace una distinción clara entre dos situaciones: primero, el daño causado en la superficie de la Tierra o a aeronaves en vuelo, y en segundo lugar, el daño causado en otro lugar diferente de la superficie de la Tierra. Respecto al primero, el convenio adopta un régimen de responsabilidad absoluta, mientras que con relación al segundo, se aplica la responsabilidad por culpa. Bajo el régimen de responsabilidad absoluta, los Estados siempre son responsables por los daños causados por sus objetos espaciales; por tanto, las víctimas no están obligadas a demostrar que el daño es la consecuencia de la falla del Estado de lanzamiento. Esta disposición está destinada a proteger a los sujetos que no participan en actividades espaciales y que sufrieron daños por un objeto espacial.

En caso de una colisión entre objetos espaciales, las Partes se encuentran en una posición de igualdad. Ambas han aceptado los riesgos que incorporan las actividades espaciales y, por tanto, la responsabilidad no puede ser absoluta, sino que debe basarse en la culpa de una de las Partes involucradas. "Los recursos proporcionados por el convenio de responsabilidad están disponibles únicamente entre los Estados y es-

tipulan procedimientos dentro de un contexto diplomático” (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002, p. 15). No se aplica a los daños causados dentro del “Estado(s) de lanzamiento” y no impide que las partes perjudicadas busquen otros recursos judiciales. Este régimen de responsabilidad está acoplado para los Estados a un régimen de responsabilidad para las actividades realizadas dentro de su territorio (Von der Dunk, 2015). El tratado no se aplica a los daños causados por desechos o basura espacial, porque se considera que están fuera del control de los Estados.

3.2.4 Convenio Sobre El Registro de Objetos Lanzados Al Espacio Ultraterrestre de 1975

De la misma forma que el convenio de responsabilidad, el convenio de registro se deriva de los artículos VII y VIII del Tratado del Espacio. Las ventajas de un sistema de registro de objetos espaciales parecerían evidentes, si se tuviese en cuenta que: 1) es prácticamente imposible identificar una nave espacial que haya causado daños sin un sistema de registro; 2) un sistema de registro equilibrado e informativo ayuda a minimizar la probabilidad y la sospecha de que se estén emplazando armas en órbita (Tronchetti, 2013). Por otro lado, los satélites son bienes muebles y, por tanto, la existencia de un registro se constituye en la evidencia de la propiedad de un Estado sobre el objeto. Es por esta razón que dentro del convenio se establecen dos tipos de registro: 1) el nacional, que debe ser emitido según las provisiones establecidas en cada país; y 2) el internacional, a cargo de la ONU, siendo éste de conocimiento público. El tratado no es específico sobre el tiempo que tienen los Estados Parte para notificar a la ONU sobre los objetos lanzados al espacio; únicamente dice que esta tarea debe realizarse en el menor tiempo posible, siendo algo discrecional de los Estados. La información requerida para esta notificación se indica en el artículo IV del tratado así:

- a) Nombre del Estado o de los Estados de lanzamiento; b) Una designación apropiada del objeto espacial o su número de registro; c) Fecha y territorio o lugar del lanzamiento; d) Parámetros orbitales básicos, incluso Período nodal, Inclínación, Apogeo y Perigeo; e) Función general del objeto espacial (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002, p. 22).

Sobre este último requisito, existe la preocupación de que los objetos con propósitos militares no sean declarados con su intención real.

Finalmente, se debe tener en cuenta que, además del proceso de registro en la ONU, existe uno paralelo que requiere información de radiofrecuencias y ubicaciones orbitales con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Esto se realiza con el fin de evitar la interferencia física y electromagnética, así como de optimizar el uso de órbitas particulares como es el caso de la órbita geoestacionaria.

3.2.5 Acuerdo Que Debe Regir Las Actividades de Los Estados en La Luna y Otros Cuerpos Celestes de 1979

El último de los tratados del derecho espacial es conocido como el Tratado de la Luna. Este tratado establece que la Luna, así como otros cuerpos celestes y sus recursos naturales, son patrimonio común de la humanidad, por lo que no serían sujetos de apropiación ni de reivindicación de soberanía, y su exploración y utilización incumbirán a toda la humanidad y se efectuarán en provecho y en interés de todos los países, sea cual fuere su grado de desarrollo económico y científico.

Pese a que los tratados anteriores recibieron una gran acogida por la comunidad internacional, el Tratado de la Luna ha sido controversial, como es evidente en el número de países signatarios o aquellos que lo han ratificado. "Solamente 17 Estados lo han hecho, de los cuales ninguno es potencia espacial, mientras que, en contraste, el Tratado del Espacio ha sido ratificado por 105 Estados, y firmado por otros 25" (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre, 2017b, p. 12). Tronchetti (2013) cree que esto puede deberse a dos razones principales: 1) la naturaleza controvertida de algunas disposiciones del tratado, en particular la introducción del concepto "patrimonio común de la humanidad"; y 2) el interés limitado de los Estados por aceptar obligaciones vinculantes que rijan la exploración y el uso de la Luna y sus recursos y les exijan compartir los beneficios de la explotación y su tecnología.

El acuerdo no establece un régimen internacional que indique cómo se debe llevar a cabo la explotación de recursos naturales en la Luna y otros cuerpos celestes; cualquier decisión al respecto ha sido pospuesta hasta el momento en que la explotación de los recursos lunares sea factible (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002). Asimismo, el acuerdo solo contempla los propósitos generales de dicho régimen, incluido el desarrollo ordenado y seguro de los recursos naturales de la Luna y la participación equitativa de todos los Estados en los beneficios de esos recursos, teniéndose

especialmente en cuenta los intereses y necesidades de los países en desarrollo, así como los esfuerzos de los países que hayan contribuido directa o indirectamente a la explotación de la Luna.

4. La Política Internacional de Colombia con Respecto Al Derecho Espacial

El interés de Colombia por el sector espacial tiene sus comienzos en la década de 1970. Luego de firmar en 1967 el tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, más conocido como Tratado del Espacio o Tratado de 1967, elaborado por la COPUOS, Colombia inició una cruzada internacional para reclamar su soberanía sobre la porción de órbita geoestacionaria que se encuentra sobre su territorio; por consiguiente, se reunieron en Bogotá entre el 26 de noviembre y el 3 de diciembre de 1976, representantes de los Estados de Gabón, Zaire, Uganda, Kenia, Somalia, Indonesia, Ecuador, Colombia y Brasil (en calidad de observador), quienes a través de lo que se denominó la Declaración de Bogotá, buscaban reclamar ante la ONU su soberanía sobre la órbita de los satélites geoestacionarios, por considerar que se trataba de un recurso natural escaso, y sobre el cual, debía existir un régimen especial para su explotación (Peña, 2014). Los países allí reunidos propusieron que cualquier Estado que tuviese intención de colocar un satélite en la órbita geoestacionaria, debería contar con autorización expresa del Estado ecuatorial afectado y acogerse a la legislación que cada uno tuviese en vigencia.

En consecuencia, Colombia presentaría esta posición ante la asamblea general de la ONU, en representación de los países firmantes de la Declaración de Bogotá, el 14 de octubre de 1975 (Osmańczyk, 2003). No obstante, la asamblea general la rechazaría por estar en desacuerdo con el principio de no apropiación establecido en el tratado de 1967 (Cortés y Kure, 2013). A la reunión en Bogotá le seguiría la Declaración de Quito en 1982, la cual tampoco tendría el efecto deseado, por lo que paulatinamente todos los países firmantes de la Declaración de Bogotá abandonaron sus pretensiones, siendo Colombia, Indonesia y Kenia los últimos en hacerlo (Gómez, 2013), al modificar su posición y demandar un acceso equitativo para los países en desarrollo, como una forma de obtener apoyo de un mayor número de Estados (Cortés y Kure, 2013).

A pesar de los esfuerzos diplomáticos realizados durante las décadas de 1980 y 1990, el avance más relevante se obtendría al final, durante la Conferencia Internacional de Telecomunicaciones de Nairobi en 1982, donde estableció un uso racional del

espectro de frecuencias radioeléctricas de la órbita de los satélites geoestacionarios, y el reconocimiento de que para ello, se debían considerar las necesidades de los países en desarrollo (Cortés y Kure, 2013), si bien nunca se lograron avances sobre el acceso equitativo a la órbita geoestacionaria.

En un esfuerzo por legitimar esta posición, miembros de la Asamblea Nacional Constituyente incluyeron en la Constitución Política de Colombia de 1991, el artículo 101, inciso 4, que establece lo siguiente:

También son parte de Colombia, el subsuelo, el mar territorial, la zona contigua, la plataforma continental, la zona económica exclusiva, el espacio aéreo, el segmento de la órbita geoestacionaria, el espectro electromagnético y el espacio donde actúa, de conformidad con el derecho internacional o con las leyes colombianas a falta de normas internacionales (subrayado fuera de texto original).

Internamente, la interpretación sobre la definición del territorio colombiano de acuerdo con el derecho internacional, ha dado lugar para diferentes posturas sobre la soberanía de Colombia en la porción de órbita geoestacionaria que se encuentra sobre su territorio. No obstante, la Corte Constitucional, mediante cuatro sentencias distintas, relacionadas con la constitucionalidad de la aprobación de convenios internacionales sobre el uso de satélites, favorecería tácitamente la tesis de que la órbita geoestacionaria es un recurso de la humanidad que debe ser administrado por todos los Estados (Cortés y Kure, 2013), si bien Colombia sigue en el presente sin ratificar el mencionado tratado.

Paralelamente al esfuerzo diplomático durante este periodo, Colombia también mostraría interés en la adquisición de un satélite de comunicaciones. El presidente Alfonso López Michelsen (1974-1978) fue el primero en plantear la iniciativa de adquirir un satélite con el fin de consolidar la soberanía del país sobre la órbita geoestacionaria; sin embargo, esta idea terminaría siendo abandonada rápidamente debido al elevado costo del proyecto (Ramírez y Cárdenas, 2006). Posteriormente, en 1977 surgió en el marco de una reunión de ministros de transporte, comunicaciones y obras públicas del Pacto Andino, el proyecto "Cóndor" (Ramírez y Cárdenas, 2006), como alternativa para que los países de la subregión solucionaran sus necesidades en materia de comunicaciones, repartiéndose los altos costos de adquisición de un satélite; pero nuevamente la iniciativa se vio truncada debido a la difícil situación económica que sufriría América Latina en la década de los 80, provocando que el proyecto no pasara de la fase de estudios de factibilidad (Harding, 2013).

En 1994, el Comité Andino de Autoridades de Telecomunicaciones (CAATEL), junto con la Asociación de Empresas de Telecomunicaciones del Grupo Andino (ASETA), reactivaron el proyecto de un satélite de comunicaciones para la subregión, esta vez denominado "Simón Bolívar". La principal diferencia con el proyecto "Cóndor" radicaba en que los gobiernos neoliberales de la época veían con buenos ojos que la empresa privada fuese quien financiara la realización del proyecto, por lo que en 1996 mediante la decisión 395 del CAATEL, se estableció un marco regulatorio para la utilización comercial del recurso órbita-espectro por parte de empresas de la región andina; a esta decisión le siguió la 429 de 1998, en la cual se otorgaron los derechos de establecimiento, operación y explotación del sistema a la empresa Andesat S.A., en las posiciones orbitales 67,0° W, Banda C y Ku; 61° W, Banda C y Ku derivado del cambio de la posición inicial 78,5° W; 106° W, Banda C y 109° W, Banda C, otorgando para ello un plazo de tres años contados a partir del 3 de marzo de 1998.

Los retrasos de Andesat S.A. para cumplir con la entrega prevista, la cual había sido extendida para marzo de 2003 mediante decisión 480 de 2000, llevaron a que CAATEL, mediante Decisión 559 de 2003, finalmente declarara la caducidad de los derechos otorgados, dando libertad a los Estados miembros para realizar gestiones directamente ante cualquier autoridad pública (incluyendo administraciones de telecomunicaciones o empresas que pudieran tener interés en las posiciones orbitales), como una medida para lograr salvar el proyecto. Aun cuando esto pudo suponer la muerte de esta iniciativa, la Comunidad Andina de Naciones (CAN) intentó mantenerla a flote, y en los años subsiguientes el proyecto se mantuvo vigente gracias a la asociación entre Andesat S.A. y Star One (Batista, 2005).

Sin embargo, mediante Decisión 604 de 2005, CAATEL determinó que Andesat S.A. no tenía la capacidad técnica ni financiera para concretar el proyecto, por lo cual se le revocaban definitivamente los derechos otorgados. Esta decisión también incluyó la autorización para que Venezuela colocase un satélite temporal (*Gap Filler*), en la posición orbital 67,0° W, como medida para que la CAN no perdiese la posición otorgada por la UIT. Ese mismo año, Venezuela cumplió su compromiso de ocupar la posición a nombre de la CAN, contratando la reubicación del satélite *Anik-E2* (que se encontraba fuera de servicio) (Convergencia Latina, 2005), al tiempo que anunciaba su intención de adquirir un satélite propio de telecomunicaciones a la compañía China Great Wall, al cual denominó *Venesat-1* y que pondría en órbita en 2008 (Harding, 2013). En 2010, la CAN, mediante Decisión 725 autorizó a la empresa holandesa New Skies a explotar comercialmente por 30 años la posición orbital 67,0° W.

Durante el periodo 2002-2005, Colombia ejerció la Secretaría *pro tempore* del foro regional y multilateral denominado Conferencia Espacial de las Américas (CEA). La CEA fue creada en 1990 con apoyo de la ONU, con el objetivo de promocionar y desarrollar las actividades espaciales de los países de América Latina y el Caribe (Agencia Espacial Mexicana, 2016). En cumplimiento del Plan de Acción derivado de la IV CEA celebrada en Cartagena, entre el 14 y el 17 de mayo de 2002, Colombia organizó, durante la segunda Feria Aeronáutica Internacional "Colombia F-Air 2004" en Rionegro, un seminario sobre la experiencia aeroespacial de Latinoamérica, durante el cual expertos de la ONU y representantes de organismos espaciales de la región, presentarían una propuesta temática para definir un programa de actividades espaciales para Colombia, destacando la urgencia de contar con una instancia representativa que sirviese de punto de coordinación entre los diversos sectores interesados de la administración pública (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2005).

Acogiendo esta recomendación, la administración del presidente Álvaro Uribe (2002-2006; 2006-2010), mediante Decreto 2442 de 2006, crearía la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), designándola como el órgano de coordinación central para las actividades espaciales, la política, la investigación y la cooperación internacional, dirigida por la Vicepresidencia de la República e integrada por los Ministerios de Relaciones Exteriores, Defensa Nacional, Agricultura y Desarrollo Rural, Educación Nacional, Comunicaciones, Interior y de Justicia, Minas y Energía, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y de Transporte, así como por el Comandante de la Fuerza Área Colombiana (FAC), y los Directores del Departamento Nacional de Planeación (DNP), la Aeronáutica Civil, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colciencias, Acción Social, Ingeominas, la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Universidad Sergio Arboleda, Dirección Marítima (DIMAR), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el CIF.

Esta comisión de carácter intersectorial, ha tenido como funciones principales coordinar la política espacial y la creación de estímulos para la integración industria-Estado-academia, entre otras. En efecto, el impulso generado por la CEA no solo contagiaría al gobierno colombiano, sino también a la academia, que comenzó a involucrarse activamente en la generación de conocimiento; por ello la Universidad Sergio Arboleda iniciaría en 2005, la construcción del CubeSat "Libertad 1"; Colombia colocaría en órbita su primer satélite espacial antes de fin de ese año. Sin embargo, fue lanzado en 2007 en órbita LEO, y se convertiría en el primer satélite colombiano, con una misión que duró 34 días (Harding, 2013).

Ese mismo año, el Ministerio de Comunicaciones anunciaba que se estaban analizando varias alternativas económicas para la adquisición de un satélite propio de comunicaciones que facilitase el acceso a ellas en los sitios remotos de la geografía nacional, en donde ante la ausencia de redes de interconexión terrestres, las comunicaciones satelitales serían la única alternativa. Como resultado de una consultoría contratada a CAATEL, el DNP expidió los documentos CONPES 3579 y 3613 de 2009, con lineamientos para la implementación de un proyecto satelital de comunicaciones denominado "SATCOL", con el fin de contar con el satélite en operación en 2012 (elespectador.com, 2009).

Empero, en dos ocasiones se abrió el proceso licitatorio sin que fuese posible su contratación. En la primera fue declarado desierto debido a que el único proponente que se presentó no pudo cumplir los rigurosos requerimientos en materia de seguros; en la segunda, el proceso fue suspendido por suspicacias de una relación entre uno de los proveedores y el gobierno de Venezuela (Guerra, 2016). Y con la llegada en 2010 del nuevo Ministro de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Diego Molano, se pondría fin al proyecto, ya que consideraba que sería más eficiente destinar los recursos (alrededor de \$250 millones de dólares), al desarrollo de una interconexión de fibra óptica en cerca de 500 municipios del país (elespectador.com., 2013).

En 2009, la CCE se proponía como objetivo lograr la normalización de Colombia ante los organismos internacionales; esto significaría revivir el debate sobre la soberanía del país en la órbita geostacionaria, con el fin de tramitar una ley ante el Congreso de la República para la adhesión de Colombia al Tratado sobre los Principios del Espacio Ultraterrestre (Comisión Colombiana del Espacio, 2009). Sin embargo, teniendo en cuenta razones de orden técnico y prácticas, la CCE tomó la decisión de priorizar la adhesión de Colombia a los Acuerdos de Salvamento y de Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre (Comisión Colombiana del Espacio, 2011), los cuales fueron ratificados por el Congreso mediante las Leyes 1569 y 1591 del 2012.

La CCE también participó en la elaboración del CONPES 3683 de 2010 Lineamientos para la formulación del Programa Nacional de Observación de la Tierra que incluya el diseño de un Programa Satelital Colombiano, con el objetivo de reducir la deficiencia en el acceso a la información de observación de la Tierra, con miras a fortalecer la toma de decisiones de los sectores público y privado. Posteriormente, y con el aval del Vicepresidente de la República en 2011, la CCE comenzó la elaboración de una propuesta para la creación de la Agencia Espacial Colombiana (Comisión Colombiana

del Espacio, 2011), la cual estaba justificada por la debilidad de la CCE para implementar políticas y desarrollar un programa espacial. Por ese entonces, el presidente de Colombia contaba con facultades extraordinarias para reasignar funciones y competencias entre las entidades y los organismos de la administración (según la Ley 1444 de 2011), aunque ello no sería suficiente para que el proyecto de decreto fuese sancionado (Durán y Laverde, 2011), sin que se conocieran los motivos que llevarían al presidente de la época a tomar esa decisión.

Todo esto ocurrió mientras el IGAC ejercía la secretaría ejecutiva de la CCE. A partir del año 2013, la FAC asume la secretaría ejecutiva teniendo como presidente de la misma, al entonces Vicepresidente de la República Angelino Garzón (2010-2014). Para esa fecha, la voluntad política buscaba materializar tres proyectos: la creación de la agencia espacial, la adquisición de un satélite de observación de la Tierra y el fortalecimiento de la triada Estado-academia-empresa (Comisión Colombiana del Espacio, 2013). Para ello, mediante Decreto 2516 de 2013 se creó el Programa Presidencial para el Desarrollo Espacial Colombiano (PPDEC), con funciones que se traslapaban con las de la CCE, pero que, a diferencia de ésta, contaría con personal de carácter permanente y presupuesto para desarrollar su trabajo. Durante 2014, el PPDEC adelantó los estudios de mercado para la adquisición del satélite de observación de la Tierra *SOTCOL*, sin contar para esta tarea con la participación de la CCE (Comité Técnico de la Comisión Colombiana del Espacio, 2014). Este esfuerzo fue muy corto y dio frutos, debido a que mediante Decreto 1649 de 2014, se daba por terminado el PPDEC y sus funciones eran asignadas a una nueva área dentro de la estructura de la presidencia.

Esta modificación de rumbo político se debió al cambio de Vicepresidente de Colombia en el segundo periodo de gobierno de Juan Manuel Santos. En efecto, en 2014 asumió la presidencia de la CCE, el Vicepresidente Germán Vargas Lleras, quien decidió no continuar con el proyecto de adquisición de un satélite, sin realizar ningún pronunciamiento formal al respecto (Comisión Colombiana del Espacio, 2014) y, desde entonces, la CCE no ha tenido reuniones plenarias de sus miembros. A partir de ese momento, la CCE ha estado a la deriva, buscando un responsable político que asuma el reto de desarrollar el sector espacial colombiano, pasando por la Dirección de Proyectos Especiales (Presidencia de la República, 2014), el Departamento Administrativo de la Presidencia (Presidencia de la República, 2015), la Alta Consejería para el Posconflicto (Presidencia de la República, 2016) y actualmente el Consejero de Seguridad de la Presidencia (Presidencia de la República, 2017).

5. Desafíos para La Seguridad Multidimensional de Colombia a La Luz de La Meta-Geopolítica

El término meta-geopolítica fue propuesto y desarrollado por Al-Rodhan (2009), como un cambio de paradigma de la geopolítica tradicional y como un nuevo enfoque para analizar las relaciones internacionales. De acuerdo con Al-Rodhan (2009), la meta-geopolítica difiere de los conceptos tradicionales de geopolítica en la medida en que propone una visión multidimensional del poder; en tal visión, la volatilidad actual requiere que los Estados amplíen su punto de vista sobre las amenazas a su seguridad, más allá de un determinado país o una región geográfica establecida, así como su significancia política y militar. En consecuencia, el autor propone siete áreas de poder, a las cuales denomina capacidades:

1. Problemas sociales y de salud (social and health issues). Esta área está relacionada con los aspectos tradicionales de geopolítica como demografía y cohesión social, a los cuales se adiciona la salud. Los problemas demográficos como los aumentos o disminuciones dramáticos de población, el nivel educativo de sus habitantes o las tasas de desempleo son condicionantes de la fortaleza geopolítica de un Estado. Asimismo, la cohesión social influye en la capacidad de un país para resistir situaciones de crisis y contribuye a mantener una mayor estabilidad gubernamental. Por último, los aspectos de salud pueden afectar negativamente la capacidad económica de los países, y por tanto, colocar en riesgo su seguridad.

2. Política nacional (domestic politics). La estabilidad de los aspectos internos de los Estados tiene un impacto directo en su capacidad de relacionarse con otros Estados. Los Estados menos inalterables tienen menores posibilidades de explotar su posición geográfica para mejorar su fuerza geopolítica.

3. Economía (economics). Es un elemento de la geopolítica clásica. El poder económico no está fundamentado únicamente en los recursos naturales de un país, sino en su capacidad para comercializarlos internacionalmente.

4. Medio ambiente (environment). Los efectos del cambio climático y su posible impacto en la disponibilidad de recursos naturales han puesto al medio ambiente como un aspecto relevante en la geopolítica mundial.

5. Ciencia y potencial humano (science and human potential). El conocimiento científico y las habilidades de su población son indicadores del poder de un Estado.

Estos aspectos son cruciales en el desarrollo de tecnología, la cual a su vez promueve el cambio y el progreso, haciendo más poderoso a un país.

6. Problemas militares y de seguridad (*military and security issues*). Este es otro elemento de la geopolítica tradicional que sigue siendo vital para los Estados. Esta forma de poder duro logra modificar el balance de poder entre Estados, lo cual significa que es uno de los aspectos más importantes para su seguridad.

7. Diplomacia internacional (*international diplomacy*). Esta dimensión de poder permite a los Estados influir en el proceso mundial de toma de decisiones. La relación entre la diplomacia, el poder militar y el poder económico no siempre se encuentra en proporción directa. Aún los Estados más pequeños pueden tener un papel importante en el teatro internacional por medio de las negociaciones y el establecimiento de alianzas que vayan orientadas a proteger sus intereses.

Con base en lo anterior, el enfoque meta-geopolítico es apropiado para el análisis del derecho espacial internacional con relación a la seguridad multidimensional. En primer lugar, porque como señala Al-Rodhan (2012), la realidad actual del poder espacial se ha transformado de ser un asunto que involucraba únicamente a los Estados y el dominio militar, para abarcar un rango más amplio de capacidades que son empleadas por actores estatales y no estatales para mejorar su posición geopolítica en la Tierra. En segundo lugar, porque las capacidades de las que se encarga la meta-geopolítica están íntimamente ligadas con las preocupaciones de la seguridad multidimensional.

Los sistemas espaciales permiten la transferencia de información, incluyendo aspectos como la seguridad y la superioridad informáticas, ya sea con fines militares o comerciales. La multifuncionalidad y multidimensionalidad de las aplicaciones espaciales, abarca entre otros aspectos, la salud, la educación, el transporte, la navegación, la comunicación, etc. A pesar de los beneficios disponibles de los activos espaciales, la confianza en estos sistemas ha creado nuevas vulnerabilidades que deben abordarse, y es debido a la importancia y la dependencia cada vez mayor de los sistemas espaciales que las amenazas a estos activos se multiplican de manera exponencial (Steinberg, 2012). Por consiguiente, se revisa cómo cada una de las capacidades propuestas por la visión de la meta-geopolítica es impactada por el derecho espacial.

5.1 Problemas Sociales y de Salud

“El uso de fuentes de propulsión nuclear es idóneo para las misiones de exploración espacial, particularmente por las ventajas que otorgan, como su larga vida y reducido tamaño” (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-, 2002, p. 47), lo cual ha llevado a que las potencias espaciales las empleen en una gran variedad de misiones. Sin embargo, recientemente ha surgido una mayor preocupación sobre el riesgo que supone su utilización para la salud humana, cuando éstas se empleen tanto para satélites artificiales que orbiten la Tierra, como para misiones tripuladas. La UNOOSA, mediante el documento Principios pertinentes a la utilización de fuentes de energía, aprobado por la asamblea general en su Resolución 47/68, del 14 de diciembre de 1992, busca limitar su uso para las misiones que no puedan funcionar razonablemente con una fuente de energía distinta. Si bien se trataría de un instrumento de carácter no vinculante, estaría orientado a unir esfuerzos de los Estados participantes, en busca de que éstos y especialmente los actores privados, lleven a cabo con responsabilidad su actividad espacial, minimizando el riesgo de peligros radiológicos para la población y la biosfera.

Ahora bien, con la inminente proximidad de que cualquier persona pueda realizar viajes al espacio, y que empresas privadas puedan llevar a cabo actividades de exploración espacial, surgen preocupaciones sobre los efectos que éstos pueden tener a largo plazo en la salud, no solo de las personas que realicen estos viajes, sino también sobre la posibilidad de contraer enfermedades desconocidas que afecten a la población que reside en la Tierra. El artículo IX del Tratado del Espacio aproxima esta situación estableciendo que los Estados Partes harán los estudios e investigaciones del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, y procederán a su exploración de tal forma que no se produzca una contaminación nociva ni cambios desfavorables en el medio ambiente de la Tierra, como consecuencia de la introducción en él de materias extraterrestres; y que cuando sea necesario, adoptarán las medidas pertinentes para tal efecto. No obstante, el riesgo no dejaría de existir, y si la teoría de la panspermia (que promulga que el origen de la vida en la Tierra proviene del espacio exterior), tiene alguna validez (Tepfer, 2008) the commonality of the genetic code is well established, as is the presence of life on Earth early in the planet's history. Spontaneous generation of life has not been documented, but life's ability to travel through space (at least for short distances, entonces son fundamentadas las preocupaciones sobre la aparición de nuevas enfermedades o inclusive la mutación de otras ya conocidas en la Tierra, como pudo ser comprobado por la NASA durante un

experimento llevado a cabo con la bacteria de salmonela, cultivada en el transbordador espacial, y que mostraría una actividad genética extraña, al volverse mucho más virulenta que en la Tierra (Bourzac, 2007).

5.2 Política Nacional

Con respecto a la política nacional, el derecho espacial supondría para Colombia dos desafíos puntuales. El primero de ellos tiene que ver con la soberanía del país al considerar el segmento de órbita geoestacionaria como parte de su territorio, como se discutió en la sección 4 de este capítulo. El segundo aspecto es sobre la inexistencia de la regulación de actividades espaciales en el país; a continuación se abordarán cada uno de ellos.

Las fuentes aceptadas de derecho internacional están enumeradas en el artículo 38, párrafo 1, del Estatuto de la Corte Internacional de Justicia, y son: a) convenciones internacionales (tratados), b) costumbre internacional, c) principios generales de derecho -como medios subsidiarios para la determinación de las normas de derecho- y d) decisiones judiciales y enseñanzas. Los tratados no son otra cosa que un acuerdo establecido y documentado entre dos sujetos del derecho internacional y se fundamentan en los principios de *pacta sunt servanda rebus sic stantibus*⁵. La costumbre la constituyen actos reiterativos que como consecuencia de su aplicación o utilización se vuelven norma, dando como resultado una norma de *ius cogens*⁶, o de obligatorio cumplimiento. La costumbre se forma a partir de una conducta persistente por parte de uno o varios actores y, la única forma de derrotar la costumbre como fuente de derecho, es cuando se ejerce oposición persistente a la costumbre; cuando no hay evidencia de oposición persistente, implícitamente quiere decir que hay aceptación. Las otras fuentes son de menor importancia para el derecho del espacio: los principios generales de la ley (por ejemplo, que la violación de un compromiso implica la obligación de reparación), y las decisiones judiciales como fuente secundaria (Brünner y Soucek, 2011).

En el caso particular de Colombia, el país no solo no se opuso al Tratado de los Principios en 1967, sino que como se detalló anteriormente, tampoco ha ejercido oposición persistente sobre sus pretensiones de reclamar como parte de su territorio el segmento de órbita geoestacionaria. Por otro lado, como indica el doctor Rey, la vinculación de

5. Los pactos se cumplen en las condiciones en las que fueron firmados.

6. La Convención de Viena sobre el derecho de los tratados, en su artículo 53, establece que una norma imperativa o de *ius cogens* es aquella que es aceptada y reconocida por la comunidad internacional, que no admite acuerdo en contrario y que solo puede ser modificada o derogada por una norma que presente el mismo carácter.

Colombia con el tratado de 1967, pese a aún no haber sido ratificado, puede interpretarse a partir del artículo 38 de la Convención de Viena de 1969 (aprobada por la Ley 32 de 1985), que dispone:

Artículo 38. Normas de un tratado que lleguen a ser obligatorias para terceros Estados en virtud de una costumbre internacional. Lo dispuesto en los artículos 34 a 37 no impedirá que una norma enunciada en un tratado llegue a ser obligatoria para un tercer Estado como norma consuetudinaria de derecho internacional reconocida como tal (Congreso de la República, 1985).

Lo anterior es suficiente para motivar la ratificación por parte de Colombia del Tratado de los Principios y los demás tratados que se derivan de él, y que como consecuencia de la interpretación del artículo 101 de la Constitución, han impedido su avance.

El segundo aspecto que requiere una consideración importante para la política nacional, son las normas nacionales para la regulación de las actividades espaciales y que han surgido en cada país como consecuencia de su vinculación a los tratados internacionales y de un interés de convertir el sector espacial en un renglón importante de la economía. Algunos Estados optan por participar en todo el espectro de actividades y capacidades espaciales (defensa, comercial, civil y nacional), mientras que otros deciden centrarse en o excluir tipos específicos de actividades. En algunos casos, esta elección puede reflejar una decisión nacional sobre una interpretación específica de lo que significan los usos pacíficos del espacio, o la relación de un Estado y el enfoque ideológico de su sector privado (Weeden, 2017).

Las políticas espaciales nacionales son los documentos sobre los cuales los países detallan estas intenciones. En este sentido, Colombia aún no cuenta con un documento de esta naturaleza, lo cual ha impedido que tanto actores gubernamentales como privados tengan una idea clara de lo que el Estado colombiano pretende alcanzar en esta área. Como menciona Sadeh (2013), existen desafíos para el desarrollo de una estrategia espacial, los cuales pueden impedir fallas en la implementación debido a la necesidad de interacción entre las partes interesadas más allá de la rama ejecutiva del gobierno, incluido el congreso, así como entidades comerciales e incluso gobiernos extranjeros. Dichas interacciones deben anticiparse mediante una política nacional para garantizar una ejecución exitosa.

De otro lado, la necesidad de regular las actividades espaciales al interior de cada país tiene su origen en las obligaciones contraídas en los tratados internacionales en lo concerniente a la autorización y supervisión de las actividades espaciales. No

obstante, Brunner y Soucek (2011) identifican otras razones para esta necesidad. Por un lado, la inherente peligrosidad de las actividades espaciales es razón más que suficiente para que los Estados hagan lo posible para evitar consecuencias desastrosas. Asimismo, debido a que las actividades espaciales no están circunscritas únicamente al Estado en el que se llevan a cabo, deben buscar maneras para que su seguridad nacional no se vea comprometida por las actividades de otros. Por su parte, Abhijeet (2016) indica que sobre la base del derecho internacional del espacio, los Estados son responsables internacionalmente de todas sus actividades espaciales, incluidas las realizadas por entidades no gubernamentales, las cuales requieren explícitamente la autorización y supervisión de éstos.

La mayoría de los Estados han establecido un régimen completo de las actividades espaciales mediante una ley que usualmente lleva el mismo nombre, y que busca identificar responsables dentro del gobierno para la autorización, registro y obligaciones de seguridad y ambientales de dichas actividades, así como la distribución de la responsabilidad entre el Estado y las entidades no gubernamentales y la supervisión de las mismas, con un régimen de sanciones en caso de incumplimiento de los requisitos de autorización (Brünner y Soucek, 2011; Dempsey, 2016).

En el caso particular de los Estados Unidos, cuyo gran desarrollo tecnológico ha trascendido de lo gubernamental a lo privado, además de la ley de actividades espaciales, cuanta con documentos específicos para, por ejemplo, las aplicaciones de comunicaciones, observación de la Tierra e incluso lanzamientos comerciales, mediante los cuales el Estado busca alentar, facilitar y promover el lanzamiento comercial al espacio por parte del sector privado. El lado opuesto a esta situación se observa en China, en donde las capacidades espaciales (en su mayor parte estatales), no están soportadas por una ley nacional, y como explica Wu (2018), obedecen a razones principalmente políticas y burocráticas. Esto constituye un caso extraño entre los Estados considerados potencias espaciales; sin embargo, es explicable por el sistema de gobierno existente en el país asiático.

5.3 Economía

La industria satelital ha presentado un crecimiento sostenido durante los últimos diez años. El informe de Bryce Space and Technology (2018) permitiría apreciar que los ingresos mundiales de esta industria se han elevado aproximadamente en un 200%, y de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OECD- (2014), el sector espacial es el único que no fue afectado por la crisis

mundial que surgió en 2007, presentando un crecimiento incluso por encima del Producto Interno Bruto (PIB) mundial. Para la Satellite Industry Association -SIA- (2018), Euroconsult (2016) y la OECD (2014), la industria espacial podría dividirse en cuatro segmentos: los fabricantes de satélites, la industria de lanzamientos, los equipos en tierra y los servicios satelitales. El informe de 2018 de la SIA es revelador, por cuanto indica que el segmento de la fabricación de satélites creció un impresionante 10%. Esto podría tener dos consecuencias: por un lado, significa un mayor número de satélites en órbita, lo cual trae consigo el problema de la congestión, el cual será discutido en la dimensión ambiental; pero, por otro lado, económicamente representaría que los Estados cada vez tienen menor oportunidad de lanzar sus propios satélites, especialmente los de la denominada órbita geoestacionaria.

Como se explicó anteriormente, las reclamaciones de la Declaración de Bogotá no han sido ampliamente reconocidas, y los Estados continúan aplicando a las asignaciones orbitales de acuerdo con el procedimiento de la UIT. El objetivo de la UIT es garantizar el uso racional, equitativo, eficiente y económico del espectro de radiofrecuencias por parte de todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los que utilizan órbitas de satélites, permitiendo, de hecho, el acceso al espectro para realizar actividades en el espacio ultraterrestre. Delgado (2015) indica que Estados como Colombia, que recién incursionan en el ámbito espacial, deberían estar preocupados porque tendrán acceso restringido al recurso finito de la órbita geoestacionaria.

El recurso órbita-espectro (ROE) se asigna por orden de llegada, siempre que el uso de las frecuencias cumpla con aquellos criterios establecidos en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT, y en el Cuadro de Asignaciones. Este principio ha llevado al problema de los "satélites de papel"; el RR indica que, como primer paso para la solicitud del ROE, se debe realizar una notificación anticipada, para lo cual por supuesto, no es necesario tener una intención real de poner un satélite en órbita. Este procedimiento ha conducido a una práctica común entre los Estados, la cual, para bloquear posiciones orbitales, se basa en solicitudes de coordinación especulativas de las que se aprovecha el que tienen un tiempo de validez de dos años, con la intención de asegurar un puesto en el Registro Internacional de Frecuencias de la UIT.

Es cierto que el papel de Colombia ante la COPUOS entre las décadas de 1980 y 1990 produjo en 1994 una importante modificación a la Constitución de la UIT, cuyo artículo 44 describe el espectro y la órbita geoestacionaria como "recursos naturales limitados" que deben usarse "a nivel nacional, eficiente y económico" para que "los países o grupos de países pueden tener acceso equitativo a esas órbitas y frecuen-

cias, teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica de determinados países"; sin embargo, ninguna modificación se ha realizado al procedimiento de asignación de órbitas geoestacionarias y espectro radioeléctrico, siendo regida aún por el principio de "primero llegado, primero servido". La creciente industria de los satélites estaría alentando la discusión para evitar la presentación de satélites "en papel" por parte de otras administraciones nacionales a la UIT, así como la imposición de sanciones a dichas administraciones. Esas notificaciones especulativas son las que más contribuyen a la ineficacia administrativa de la UIT y a los retrasos en la introducción al mercado de tecnologías innovadoras.

Esto significa que a medida que pasa el tiempo sin lanzar un satélite geoestacionario, Colombia tiene una probabilidad cada vez menor de conseguir una posición orbital en el futuro. Valga aclarar que las posiciones orbitales son asignadas por el tiempo de vida útil de los satélites y los Estados deben volver a hacer la solicitud del ROE para seguir ocupando una posición. Varios miembros de la industria también creen que para alentar la liberalización en el sector de los satélites y estimular el crecimiento y la inversión, la UIT debería permitir un mecanismo que admita la transferencia de notificaciones entre sus Estados miembros. A juicio de algunos, las restricciones actuales en las que los Estados miembros asignan y "poseen" las notificaciones, restringen innecesariamente la expansión y el desarrollo de los servicios por satélite y obstaculizan la competencia.

Finalmente, otro aspecto de alta complejidad con relación a la economía, tiene que ver con la enorme riqueza en minerales preciosos y fuentes de energía que están disponibles en el espacio exterior (Lewis, 2014; Sommariva, 2015). La denominada minería espacial supone un enorme reto para la comunidad internacional, que ha querido aproximar el tema por medio del Tratado de la Luna, sin obtener la adhesión de ninguna potencia espacial. En años recientes, los Estados Unidos mediante la Ley de Promoción de la Competitividad y Emprendimiento Aeroespacial Privado (Rep. McCarthy, 2015), y el Estado de Luxemburgo con su Ley sobre la Exploración y Utilización de los Recursos Espaciales (Chambre des Députés, 2017), ha energizado el debate al dotarse con la capacidad de otorgar licencias de explotación minera en el espacio exterior. Actualmente, son contados los Estados que podrían tener la capacidad de emprender semejante proyecto, con unos retornos de inversión increíblemente altos, lo que podría condenar por siempre al subdesarrollo a Estados como Colombia.

Si bien el Tratado del Espacio no descarta expresamente la propiedad privada, a menudo se argumenta que el principio de no apropiación necesariamente la excluye, ya que

como dice el argumento, ningún derecho de propiedad puede ser validado y aplicado fuera del concepto de la soberanía, y como ella está prohibida en el espacio exterior, la propiedad también estaría fuera de sus límites. Sin embargo, el artículo VI del mismo tratado estipula que “las actividades de entidades no gubernamentales en el espacio exterior, incluyendo la Luna y otros cuerpos celestes, requerirán la autorización y la supervisión continua por parte de Estado Parte en el tratado apropiado”. Entonces, se podría argumentar que un Estado, que en el ejercicio obligatorio de su jurisdicción, autoriza las operaciones mineras en un cuerpo celeste, indirectamente establece un precedente, mediante la afirmación de una prerrogativa soberana, al menos con respecto a la porción de tierra extraterrestre para la cual se otorga la licencia.

En este particular, y como ha sucedido en otras ocasiones, el derecho del mar también podría dar una luz sobre cómo proceder ante esta situación, puesto que el artículo XI del Tratado de la Luna considera que ésta y los otros cuerpos celestes son patrimonio de la humanidad, de manera similar al concepto de aguas internacionales. Si el estado legal del espacio exterior es similar al de altamar en la Tierra, y la minería espacial es como la pesca en altamar, entonces la adquisición de derechos de propiedad sobre los recursos espaciales no necesitaría una mediación soberana. Según esta suposición, se requeriría un marco regulatorio internacional con el ánimo de mantener el equilibrio entre los Estados y sobre todo la salvaguarda de sus intereses nacionales.

5.4 Medio Ambiente

Con relación a las preocupaciones que como resultado de la expansión de las actividades espaciales podrían llegar a afectar a Colombia en materia medio-ambiental, podría decirse que están circunscritas a la sostenibilidad de éstas por aspectos como los escombros y la congestión de las órbitas. A continuación se exponen porque se consideran relevantes para la seguridad de Colombia.

Los escombros generados por el hombre representan una de las amenazas más apremiantes para la capacidad continua de usar y obtener beneficios del espacio ultraterrestre. En este momento, el mayor riesgo es que los satélites de comunicaciones vitales u otras naves espaciales clave puedan ser destruidos por los desechos espaciales que viajan a velocidades superiores a Mach 20 (Klinkrad, 2006). La capacidad de los desechos espaciales para destruir naves espaciales, o herir o matar a los astronautas en el espacio, debe tomarse en serio. También existe la preocupación de que la caída de escombros podría causar daños a la propiedad o incluso matar, pero afortunadamente esta probabilidad es muy pequeña (Pelton, 2013). Los esfuerzos de

COPUOS por abordar esta situación han dado como resultado la elaboración de una versión de las directrices para la reducción de los desechos espaciales, que luego fue aprobada por la Asamblea General de la ONU en 2007. Desde entonces, la COPUOS ha seguido examinando cuestiones conexas con esta problemática en cada reunión de los subcomités (Delgado, 2015); sin embargo, es importante indicar que estas directrices, aunque tienen un propósito elevado, no son obligantes para los Estados y es el código de conducta internacional el que se usa como principio sobre este asunto (Newman y Williamson, 2018). Esas normas voluntarias pueden utilizarse como indicadores del nivel de atención esperado de los operadores de satélites en relación con la generación de desechos espaciales. Asimismo, varias organizaciones como UNCO-PUOS, el Comité de Coordinación Interinstitucional de Escombros Espaciales (IADC), el Grupo de Coordinación de Escombros Espaciales de la Red Europea de Centros y la Organización Internacional de Normalización (ISO), han estado trabajando en directrices y estándares que se están implementando de forma voluntaria.

Por otro lado, con respecto a la congestión de las órbitas de los satélites (especialmente en la órbita baja), Kaiser (2015) afirma que con la creciente cantidad de objetos espaciales hechos por el hombre, la conciencia de la situación espacial se vuelve cada vez más importante para las naciones espaciales. Las grandes constelaciones planeadas de satélites en órbita terrestre baja (LEO), aunque abordan la falta de cobertura básica de Internet en algunas regiones del mundo, pueden afectar la sostenibilidad del entorno espacial (Bastida, Dolado, Lewis, Radtke, Krag, et al., 2016). Para abordar este problema, en 2010 la COPUOS implementó el grupo de trabajo de sostenibilidad de largo plazo (LTS por sus siglas en inglés), y que de acuerdo con Martínez (2018), debía tomar como marco legal los tratados y principios vigentes de la ONU que rigen las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, sin considerar el desarrollo de nuevos instrumentos legales o la creación de nuevas obligaciones legalmente vinculantes. Sin embargo, como él mismo indica, a pesar que en un principio los participantes de este grupo de trabajo eran principalmente científicos de potencias espaciales, con el tiempo las discusiones pasaron al aspecto político, lo que ha permitido que países en desarrollo tengan una mayor influencia sobre el curso que toman las cuestiones. En el caso de Colombia, la cooperación internacional y el intercambio de datos e información de recursos vitales para enfrentar esta situación; sobre todo cuando la principal preocupación al respecto de este asunto, es que las directrices emitidas por el grupo de trabajo y acogidas por la COPUOS, no impongan restricciones o barreras de entrada para su actividad espacial.

5.5 Ciencia y Potencial Humano

El desarrollo de proyectos en el campo espacial, especialmente en lo que involucra los eslabones ascendentes de la cadena de valor de la economía espacial, requiere altas inversiones en investigación y desarrollo (I+D), que demandan largos periodos para el retorno de la inversión (Aerospace Growth Partnership -AGP-, 2013), lo cual dificulta que países en desarrollo puedan escalar en la pirámide de progreso espacial (Leloglu y Kocaoglan, 2008).

El artículo IX del tratado del espacio establece que en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, los Estados Partes deberán guiarse por el principio de la cooperación y la asistencia mutua. Por esta razón, la Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre (UNOOSA) lanzó en 2010, en el marco del Programa de Aplicaciones Espaciales, la Iniciativa de Tecnología Espacial Humana (HSTI por sus siglas en inglés), destinada a involucrar a más Estados en actividades relacionadas con el vuelo espacial humano y la exploración espacial, y así aumentar los beneficios del resultado de tales actividades a través de la cooperación internacional, con el fin de hacer de la exploración espacial un esfuerzo verdaderamente internacional que contribuya al logro de los objetivos de desarrollo sostenible adoptados por la Asamblea General de la ONU (García, Kojima y Di Pippo, 2019).

Este tipo de iniciativas podría permitir a Colombia el acceso a instalaciones experimentales u oportunidades de carga útil para todos los niveles educativos y de carreras profesionales, incluidas las instalaciones en tierra y en órbita, mediante los cuales se podrían realizar incrementos graduales en la complejidad de los desarrollos tecnológicos del país, conduciendo a lo que también propone el artículo IV del Tratado de la Luna, en el sentido de promover niveles de vida más altos y mejores condiciones de progreso y desarrollo económico y social de conformidad con la Carta de la ONU (Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre UNOOSA, 2002).

5.6 Problemas Militares y de Seguridad

El artículo IV del Tratado del Espacio constituye la provisión más importante en el sistema de tratados espaciales sobre la desmilitarización del espacio exterior. Sin embargo, este artículo, como otros, está plagado de ambigüedades. Particularmente, prohíbe la colocación de armas nucleares y cualquier arma de destrucción masiva en órbita alrededor de la Tierra o en el espacio. Como señala Chatterjee (2014), la frase

“lugar en órbita alrededor de la Tierra”, plantea dudas sobre si un arma necesita completar una órbita completa alrededor de la Tierra antes de que caiga bajo el alcance de la disposición.

La tendencia entre los Estados espaciales a desarrollar tecnología ASAT (anti satellite), en el pasado reciente (Steinberg, 2012), ha llevado a debates generalizados sobre la legalidad del despliegue de ASAT bajo el régimen de derecho espacial. Una interpretación del artículo IV, dejaría fuera de su alcance la ASAT en forma de armas de energía dirigida que simplemente se embarcan en una órbita parcial, u otras formas de armas ASAT “emergentes” que atacan directamente a los objetivos sin siquiera entrar en órbita (Chatterjee, 2014). De otra parte, Hebert (2014) manifiesta que las leyes internacionales existentes no regulan adecuadamente la basura espacial que podría ser causada por armas en el espacio, y solo establecen restricciones para las armas de destrucción masiva; su artículo sostiene que existe una necesidad válida de regular las armas espaciales, dados sus efectos desestabilizadores y la amenaza general al medio ambiente espacial. Estos vacíos, son producto de la ignorancia sobre el espacio exterior en el momento en que fueron redactados los tratados.

Los anuncios realizados recientemente por el presidente de los Estados Unidos, Donald Trump, sobre la intención de crear una denominada Fuerza Espacial como una nueva arma de las fuerzas militares estadounidenses, plantean un debate sobre si finalmente, la teoría de que el espacio debe ser considerado un santuario de paz, ha llegado a su fin. Steinberg (2012) señala que la historia ha demostrado que los tratados internacionales que garantizan la paz son de poca duración, ya que los intereses nacionales están por encima de cualquier regulación, y cuando los Estados encuentran que el régimen internacional no se ajusta a sus necesidades, simplemente abandonan esos tratados. Para Colombia, una nueva carrera armamentista que tenga como escenario el espacio exterior expondría dos preocupaciones importantes. Por un lado, implicaría la amenaza de que algunos de los países de la región con intereses hegemónicos se planteen la posibilidad de hacer parte de esta tendencia, lo cual conduciría a la segunda implicación, el desbalance de poder regional, la desestabilización y, por consiguiente, que en un futuro, el país tenga que realizar inversiones para contrarrestar esa amenaza.

5.7 Diplomacia Internacional

Según Ortiz (2008), la no ratificación de los tratados del espacio por parte de Colombia ha sido un factor importante para que el gobierno colombiano encuentre dificultad para atraer las cooperación internacional y acuerdos de cooperación técnica en esta área. Desde finales de la década de los noventa, cuando finalmente se logró incorporar en una declaración de la Asamblea General de COPUOS que el acceso a la órbita geoestacionaria debía ser equitativo, Colombia parece haber perdido el interés en los temas espaciales tanto en el contexto internacional como nacional.

Como se ha comentado y quedado en evidencia durante el análisis de las otras dimensiones, el cuerpo del derecho espacial internacional adolece de vacíos, que debido al rápido avance tecnológico y al aumento de actores tanto estatales como privados, parecen aún mayores, haciendo imprescindible que los Estados con baja o moderada actividad espacial, se involucren activamente para que los ajustes que se realicen realmente los beneficien y les garanticen el acceso futuro al espacio.

6. Conclusiones

Cuando se habla de desarrollo espacial, es muy común enfocarse en el aspecto tecnológico y pasar por alto las implicaciones legales y políticas que estas actividades podrían tener en los intereses de los Estados. A lo largo de este capítulo se ha discutido de forma breve pero concreta, desde el punto de vista de la meta-geopolítica, cuáles son los efectos del derecho espacial y sobre todo las modificaciones que el cuerpo actual de leyes tendrá en un futuro no muy lejano debido a la evolución tecnológica. Aunque algunas de las situaciones expuestas aún puedan parecer ciencia ficción, el horizonte de desarrollo de todos estos avances no va más allá de un par de décadas, con lo cual, la anticipación es el aliado más grande que puede tener Colombia para evitar consecuencias irreversibles en el ajedrez geopolítico.

El papel de Colombia a nivel de relaciones internacionales en temática espacial en las últimas décadas ha sido prácticamente nulo. La evidencia está en que después de conseguir finalmente un reconocimiento por parte de la COPUOS en 1999 sobre la necesidad de modificar el sistema de asignación de posiciones orbitales en la UIT, éste aún no se haya efectuado. Sin embargo, esta situación no es exclusiva de Colombia; a nivel latinoamericano, solamente Brasil, Argentina, y más recientemente México con la creación de su agencia espacial, han tenido un papel de relativo liderazgo. El camino de esperar hasta que surjan problemas serios nunca ha funcionado bien en el pasado. No parece prudente demorar la implementación de controles regulatorios

nacionales e internacionales apropiados hasta después de que haya ocurrido un conflicto directo entre los Estados y las operaciones comerciales. Por ende, es momento que Colombia modifique su enfoque pasivo por uno activo, llevando a las reuniones anuales de los subcomités, propuestas en las que los intereses nacionales, regionales y de otros países en desarrollo sean tenidos en cuenta.

Algunas de las principales preocupaciones que deberían ser abordadas de manera prioritaria deberían ser los temas de la sostenibilidad de las actividades espaciales, la minería espacial y la delimitación del espacio ultraterrestre. Con relación a la sostenibilidad, se debe propender que todos los Estados Parte y empresas espaciales que lanzan satélites, realicen acuerdos vinculantes para la mitigación de desechos orbitales y su eliminación activa. La mayor parte de esta carga la tienen los países con mayor actividad en el espacio, pero sus efectos se ven con mayor magnitud en los países en vías de desarrollo, debido a la futura congestión por cuenta del lanzamiento de las mega-constelaciones de satélites en órbita baja.

Respecto a la minería espacial, sería interesante replicar el modelo que tiene la UIT con respecto a la administración del ROE. Como ocurrió en su momento, existe la necesidad de un sistema de gobernanza espacial global claro que proporcione la base para la explotación ordenada de los recursos naturales del espacio; en este caso, debería crearse un organismo de la ONU que otorgue las licencias de explotación de recursos del espacio ultraterrestre y que garantice el artículo 1 del Tratado del Espacio, en cuanto a que la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, deberán hacerse en provecho y en interés de todos los Estados, sea cual fuere su grado de desarrollo económico y científico, e incumben a toda la humanidad. Está claro que a medida que el sector privado continúe expandiendo su papel en la realización de actividades espaciales, los gobiernos no seguirán siendo los únicos actores clave en el espacio.

Finalmente, la delimitación del espacio exterior sigue siendo un punto de discusión en las reuniones anuales de la Comisión, lo cual indica el grado de importancia que la mayoría de las delegaciones le han otorgado. Los vehículos aeroespaciales, los vuelos suborbitales, los satélites de atadura (*tether satellites*) y el turismo espacial representan algunas de las cuestiones relacionadas con el problema de la delimitación y un desafío al actual ordenamiento jurídico internacional. Vale la pena repetir que los riesgos que plantean las actividades espaciales, tanto en tierra como en órbita, son de implicación internacional, y por tanto, la necesidad de desarrollar un marco armonizado de normas internacionales viene como una consecuencia lógica.

Colombia debe tomar una posición con respecto a esta situación, teniendo en cuenta que el establecimiento de un marco regulatorio internacional civil/comercial del espacio, tendría efectos beneficiosos de gran alcance para eliminar los obstáculos al comercio espacial internacional, así como para satisfacer la creciente demanda del uso transparente y responsable del espacio en tiempos de paz.

Del mismo modo, también existe la cuestión de mantener un equilibrio entre los intereses de los Estados que navegan por el espacio y las industrias asociadas, por una parte, y los intereses de los Estados que no viajan por el espacio, por la otra. Teniendo en cuenta que el sistema de toma de decisiones del derecho espacial está asentado en el consenso, será una tarea compleja adelantar cualquier intento de revisión, reformulación o incluso de nuevas legislaciones sin contar con el apoyo de las principales potencias mundiales. Atrás quedaron los días del mundo bipolar de la Guerra Fría, en el que el sistema internacional era más sencillo de interpretar. Actualmente, el ascenso de China, Rusia e incluso India, así como la fragmentación de la Unión Europea por cuenta del Brexit, supone una realidad extremadamente compleja de intereses que deben ser satisfechos para que el consenso emerja victorioso.

Finalmente, los marcos regulatorios nacionales son y seguirán siendo importantes y necesarios para los propósitos de la implementación nacional de la obligación internacional de exigir la autorización y el ejercicio de una supervisión continua sobre las empresas privadas, así como para la distribución de responsabilidades internacionales en las que el gobierno de un Estado pueda verse afectado como resultado de los daños derivados de las actividades de explotación realizadas en el espacio por una entidad del sector privado. El marco regulatorio nacional sería, por tanto, importante, necesario y uno que no puede pasarse por alto.

Referencias

- Abhijeet, K. (2016). Development of National Space Law for India. *Astropolitics*, 14(2-3), 185-202.
- Agencia Espacial Mexicana. (2016). *Conferencia Espacial de las Américas CEA*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZwgCpX>
- Aerospace Growth Partnership -AGP- (2013). *Lifting Off – Implementing the Strategic Vision for UK Aerospace*. Obtenido de <https://bit.ly/2L8QZDJ>
- Al-Rodhan, N. (2009). *Neo-statecraft and meta-geopolitics : reconciliation of power, interests and justice in the 21st century*. Lit Verlag.

- Al-Rodhan, N. (2012). *Meta-Geopolitics of Outer Space*. New York: Springer International Publishing.
- Allgeier, H. y Brown, F. (2011). *Studies in Space Policy Vol. 7: The Need for an Integrated Regulatory Regime for Aviation and Space*. New York: Springer International Publishing.
- Álvarez, C. (2017). Ocupación de los espacios vacíos: una condición *sine qua non* para la seguridad multidimensional en Colombia. En Álvarez C. (Ed.). *Escenarios y Desafíos de la Seguridad Multidimensional en Colombia*. Bogotá, D.C.: Escuela Superior de Guerra, pp. 307-386.
- Asamblea Nacional Constituyente (1991). *Constitución Política de Colombia*. Obtenido de <https://bit.ly/2ivMfMv>.
- Bastida, B., Dolado, J., Lewis, H., Radtke, J., Krag, H., Revelin, B., et al. (2016). Risk to space sustainability from large constellations of satellites. *Acta Astronautica*, 126, 154-162.
- Batista, U. (2005). *Informe andino: desarrollos del periodo 2002-2004* Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Integración y Programas Regionales, Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe.
- Bittencourt, O. (2015). *Defining the Limits of Outer Space for Regulatory Purposes*. Cham: Springer International Publishing.
- Bourzac, K. (2007). *Deadly Bacteria from Outer Space*. MIT Technology Review. Obtenido de <https://bit.ly/2Pnt2N5>
- Brünner, C. y Soucek, A. (2011). *Outer Space in Society, Politics and Law*. Viena: Springer International Publishing.
- Bryce Space and Technology. (2018). *2018 State of the Satellite Industry*. Obtenido de <https://bit.ly/2sW37ON>
- Congreso de la República (29 de enero de 1985). *Ley 32*. Obtenido de <https://bit.ly/2NBaPJr>
- Chambre des Députés. *Journal officiel du Grand-Duché de Luxembourg, Pub. L. No. N° 674 du 28 juillet 2017*. Obtenido de <https://bit.ly/2NAqClq>
- Chatterjee, P. (2014). Legality of Anti-Satellites Under the Space Law Regime. *Astropolitics*, 12(1), 27-45.
- Comisión Colombiana del Espacio. (2009). *XV Comité Técnico*. Bogotá. Obtenido de <https://bit.ly/2ZBfSQn>
- Comisión Colombiana del Espacio. (2011). *XI Plenaria*. Bogotá. Obtenido de <https://bit.ly/2Lfw9kJ>
- Comisión Colombiana del Espacio. (2013). *Acta No. 15 Décima Quinta Reunión Plenaria*. Bogotá. Obtenido de <https://bit.ly/30W5YGg>
- Comisión Colombiana del Espacio. (2014). *Acta No. XLIII/2014 Séptima Reunión*

- 2014 Comité Técnico de la CCE. Bogotá. Obtenido de <https://bit.ly/2ZEKreG>
- Comité Técnico de la Comisión Colombiana del Espacio. (2014). *Tercera Reunión 2014*. Bogotá. Obtenido de <https://bit.ly/2Hxei7Q>
 - Convergencia Latina. (2005). *Venezuela reservó la posición orbital de la CAN con el Anik E2 de Telesat*. Obtenido de <https://bit.ly/2PoPxRS>
 - Cortés, C. y Kure, M. (2013). *Análisis jurídico del problema de la definición y delimitación del espacio ultraterrestre*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.
 - Delgado, L. (2015). Space sustainability approaches of emerging space nations: Brazil, Colombia, and Mexico. *Space Policy*, 37(1), 24-29.
 - Dempsey, P. (2014). National Legislation Governing Commercial Space Activities. *The Journal of Space Safety Engineering*, 1(2), 44-60.
 - Dempsey, P. (2016). National laws governing commercial space activities: Legislation, regulation & enforcement. *Northwestern Journal of International Law and Business*, 36(1), 1-41.
 - Diederiks, I. y Kopal, V. (2008). *An Introduction to Space Law*. Kluwer Law International.
 - Dolman, E. (2002). *Astropolitik : classical geopolitics in the Space Age*. London: Routledge.
 - Durán, D. y Laverde, J. (15 de octubre de 2011). Colombia entra en la era espacial | *Elespectador.Com*. Obtenido de <https://bit.ly/30JXUzb>
 - Elespectador.com. (03 de abril de 2009). *Colombia tendrá satélite en 2012*. Obtenido de <https://bit.ly/2UgTdUz>
 - Elespectador.com. (13 de abril de 2013). *Colombia, sin un lugar en el espacio*. Obtenido de <https://bit.ly/2KPhpKy>
 - Euroconsult. (2016). *The satellite value chain satellite value chain: snapshot 2015 key trends and indicators on supply & demand of the world commercial satellite industry-an extract*. Obtenido de <https://bit.ly/2tUcFez>
 - Farlin, J. (2014). *Instruments of National Power: How America Earned Independence*. United States Army War College: Carlisle Barracks, PA.
 - García, D., Kojima, A. y Di Pippo, S. (2019). Access to Space: Capacity-building for development through experiment and payload opportunities. *Acta Astronautica*, 154, 227-232.
 - Gómez, S. (2013). *Los satélites y sus órbitas: régimen jurídico del registro y puesta en órbita de los satélites geostacionarios*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.
 - Guerra, M. (13 de febrero de 2016). Ironías de la tecnología en Colombia. *Dinero.Com*. Obtenido de <https://bit.ly/2NFOWsv>
 - Harding, R. (2013). *Space Policy in Developing Countries: The Search for Security and Development on the Final Frontier*. New York: Routledge.

- Hebert, K. (2014). Regulation of Space Weapons: Ensuring Stability and Continued Use of Outer Space. *Astropolitics*, 12(1), 1-26.
- Kaiser, S. (2015). Legal and policy aspects of space situational awareness. *Space Policy*, 31, 5-12.
- Klinkrad, H. (2006). *Space Debris : Models and Risk Analysis*. Chichester: Springer-Verlag.
- Lachs, M. (1964). The international law of outer space (Vol. 113). In T. H. A. of I. Law (Ed.), *Collected Courses of the Hague Academy of International Law*. Boston: Brill, pp.1-115.
- Leloglu, U. y Kocaoglan, E. (2008). Establishing space industry in developing countries: Opportunities and difficulties. *Advances in Space Research*, 42(11), 1879-1886.
- Lewis, J. (2014). *Asteroid Mining 101: Wealth for the New Space Economy*. Tennessee: Lightning Source Inc.
- Lyall, F. y Larsen, P. (2016). *Space Law: A Treatise*. London: Routledge.
- Martínez, P. (2018). Development of an international compendium of guidelines for the long-term sustainability of outer space activities. *Space Policy*, 43, 13-17.
- Newman, C. y Williamson, M. (2018). Space Sustainability: Reframing the Debate. *Space Policy*, 46, 30-37.
- OACI. (1944). *Convenio sobre Aviación Civil Internacional (Convenio de Chicago)*. Obtenido de <https://bit.ly/2Weplma>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OECD-. (2014). *The Space Economy at a Galance*. Paris: OECD Publishing. Obtenido de <https://bit.ly/2ZCnmyr>
- Ortiz, J. (2008). A survey of Colombia's new outer space policy: Reforms in Colombian law. *Acta Astronautica*, 63(1-4), 560-563.
- Osmańczyk, E. (2003). *Encyclopedia of the United Nations and International Agreements: G to M*. Londres: Taylor & Francis.
- Pelton, J. (2013). *Space Debris and Other Threats from Outer Space*. New York: Springer International Publishing.
- Peña, S. (2014). Acceso a la órbita de los satélites geoestacionarios: propuesta para un régimen jurídico especial. *Revista de Derecho Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, 11, 1-36.
- Peterson, M. (1997). The Use of Analogies in Developing Outer Space Law. *International Organization*, 51(2), 245-274.
- Presidencia de la República (02 de septiembre de 2014). *Decreto 1649*. Bogotá, D.C.: Presidencia de la República. Obtenido de <https://bit.ly/2mmkULh>

- Presidencia de la República (17 de marzo de 2015). *Decreto 470*. Bogotá, D.C.: Presidencia de la República. Obtenido de <https://bit.ly/2Lfn2ka>
- Presidencia de la República (02 de mayo de 2016). *Decreto 724*. Bogotá, D.C.: Presidencia de la República. Obtenido de <https://bit.ly/346MBg1>
- Presidencia de la República (26 de abril de 2017). *Decreto 672*. Bogotá D.C.: Presidencia de la República. Obtenido de <https://bit.ly/2uwGrFy>
- Ramírez, S. y Cárdenas, J. (2006). *Colombia-Venezuela: retos de la convivencia*. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Políticos y Relaciones Internacionales.
- Rep. McCarthy, K. H.R.2262: *Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship Act of 2015 or the SPACE Act of 2015 (2015)*. Washington D.C: House of Representatives. Obtenido de <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/2262>
- Sadeh, E. (2013). *Space Strategy in the 21st Century: Theory and Policy*. New York: Routledge.
- Satellite Industry Association (2018). *SIA Releases 21st Annual State of the Satellite Industry Report*. Obtenido de https://www.sia.org/2018_ssir/
- Schick, F. (1964). Problems of a Space Law in the United Nations. *The International and Comparative Law Quarterly*, 13(3), 969-986.
- Sommariva, A. (2015). Rationale, strategies, and economics for exploration and mining of asteroids. *Astropolitics*, 13(1), 25-42.
- Steinberg, A. (2012). Weapons in Space: The Need to Protect Space Assets. *Astropolitics*, 10(3), 248-267.
- Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA- (2002). *Tratados y principios de las Naciones Unidas sobre el espacio ultraterrestre* (Vol. 00499). New York: UNOOSA.
- Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA- (2005). *Conferencia Espacial de las Américas. Informe de la Secretaría Pro Tempore de la Cuarta Conferencia Espacial de las Américas* Viena: UNOOSA.
- Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA-. (2017a). *A/AC.105/1122 - Report of the Legal Subcommittee on its fifty-sixth session*. Viena: UNOOSA.
- Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA- (2017b). *Status of International Agreements relating to activities in outer space as at 1 January 2017*. Viena: UNOOSA.
- Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre -UNOOSA- (2018). *2017 Annual Report United Nations*

Offices for Outer Space Affairs. Viena: UNOOSA.

- Tepfer, D. (2008). The origin of life, panspermia and a proposal to seed the Universe. *Plant Science*, 175(6), 756-760.
- Terrill, D. (1999). *The Air Force Role in Developing International Outer Space Law*. Alabama: Air University Press.
- Tronchetti, F. (2013). *Fundamentals of Space Law and Policy*. New York: Springer International Publishing.
- Vlastic, I. (1967). The Space Treaty: A Preliminary Evaluation. *California Law Review*, 55(2), 507-519.
- Von der Dunk, F. (2015). *Handbook of Space Law*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Vosniadou, S. y Ortony, A. (1989). *Similarity and Analogical Reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weeden, B. (2017). *Handbook for New Actors in Space*. Washington: Secure World Foundation.
- Worley, D. (2015). *Orchestrating the Instruments of Power: A Critical Examination of the U. S. National Security System*. Washington: Johns Hopkins University. Center for Advanced Governmental Studies.
- Wu, X. (2018). China's Space Law: Rushing to the Finish Line of its Marathon. *Space Policy*, 46, 38-45.



CAPÍTULO IV

EL ESPACIO EXTERIOR, ESCENARIO DE COMPETENCIA O COOPERACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR: LOS CASOS DE ARGENTINA, BRASIL, MÉXICO Y VENEZUELA*

*Carlos Enrique Álvarez Calderón
CR. (RA). Álvaro Molano Valbuena,
CR. Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez
CR. Martín Fernando Zorrilla.*

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

1. Introducción

El desarrollo social y económico constituiría una prioridad para el Estado, por lo que es de vital relevancia contar con una política estratégica que contemple el espacio exterior como un recurso que pueda ser utilizado a favor de sus ciudadanos. A pesar de las enormes inversiones que signifique poner en marcha programas espaciales ambiciosos, el interés por los temas espaciales trasciende a los Estados desarrollados y, por ello, en regiones como América Central o América del Sur, podrían evidenciarse avances en la implementación de organizaciones y proyectos relacionados con la exploración y uso del espacio ultraterrestre.

Quizás producto de la propia dinámica política de Latinoamérica y el enfoque reduccionista de su empleo exclusivo en temas de seguridad y defensa, no se ha facilitado una abierta colaboración entre los diferentes programas espaciales de los Estados latinoamericanos, dificultando así la consecución de metas ambiciosas entre ellos.

Cualquiera sea el caso bajo consideración, la política espacial debe ser catalogada como un asunto estratégico para la economía nacional, la generación de servicios tangibles a la sociedad, y la protección de la soberanía del territorio. La integración de diversos actores alrededor del aprovechamiento del espacio constituye un pilar fundamental para la competitividad, la cual a su vez abarca tanto la decisión de destacarse entre otros Estados (competencia), como la de trabajar con ellos en busca de beneficios comunes (cooperación). Si bien los desafíos de competitividad de cara al uso del espacio pueden ser complejos, los esfuerzos aislados de diferentes actores nacionales no redundarán en favor de la obtención de logros significativos.

2. La Importancia de Explorar El Espacio

El espacio fue en algún momento de dominio exclusivo de los Estados más ricos y desarrollados; en efecto, Estados Unidos y la Unión Soviética, y en cierta medida la Unión Europea, dominaron el uso del espacio y la tecnología a él asociada en las

primeras décadas después de la Segunda Guerra Mundial. Pero los primeros decenios del siglo XXI han sido testigos de un aumento en el número de Estados con programas espaciales públicos; no menos de 30 Estados en desarrollo, incluidos Brasil, Irán e India, poseerían en la actualidad programas espaciales nacionales con probada capacidad de lanzamiento independiente o planes concretos para lograrlo en el corto plazo.

Por tanto, los programas y tecnologías espaciales serían ahora una parte integral de las políticas estratégicas y de desarrollo de muchas potencias medias (Álvarez, Ramírez y Castaño, 2018), que aspirarían a elevar su estatus internacional, su seguridad y su futuro económico. No obstante, una multitud de otros Estados en desarrollo tan diversos como México, Perú, Argelia, Nigeria, Kenia, Pakistán y Malasia, han establecido y elevado su propia política espacial, mediante la creación de agencias espaciales nacionales y la compra y/o producción de satélites y tecnología espacial relacionada, ya sea a través de esfuerzos estatales, privados o conjuntos, por lo que para estos Estados la adquisición de capacidades espaciales sería ahora un componente integral de sus políticas nacionales.

La reciente expansión de los programas espaciales en el mundo en desarrollo demostraría que los gobiernos nacionales nunca han alterado su concepción acerca de la importancia del espacio exterior para lograr y expandir el poder nacional, bien sea por conductos militares o económicos. Esta expansión de los programas espaciales es especialmente notable porque refleja una emergente democratización del espacio, que es uno de los factores más importantes en la distribución cambiante del poder en el actual sistema internacional. Es evidente que, actualmente un sinnúmero de Estados nacionales, usa satélites para las comunicaciones y la obtención de datos meteorológicos, mediante la propiedad o simplemente a través de la compra de datos (como es el caso colombiano). En consecuencia, la ampliación y expansión del uso del espacio ultraterrestre y la transformación concomitante de la distribución del poder, podrían haber conducido a una nueva carrera espacial, si bien ésta todavía no ha alcanzado las dimensiones político-estratégicas que tuvo la competencia espacial de la Guerra Fría.

Esta nueva carrera espacial está emergiendo como el catalizador para una nueva generación de políticas e innovaciones relacionadas con el espacio, tanto en Estados desarrollados como en vías de desarrollo. Pero, ¿qué motivaría a un Estado en desarrollo, que por definición es relativamente pobre, a invertir relativamente grandes recursos económicos en programas espaciales? De acuerdo con Harding (2013), al igual que los Estados Unidos y la Unión Soviética en su momento, "los Estados en desarrollo

perseguirían activas políticas espaciales debido al reconocimiento de que el espacio exterior es, en muchos sentidos, la máxima medida del poder nacional, el prestigio internacional y la eficacia demostrada del potencial nacional" (p. 9).

Asimismo, los activos espaciales permitirían a los Estados en vías de desarrollo utilizar con mayor plenitud sus recursos nacionales y ampliar el alcance de los programas socioeconómicos, en numerosas áreas como agricultura, educación, medicina y desarrollo económico. Por ende, un programa espacial figuraría como una faceta integral de las políticas de desarrollo y de seguridad multidimensional de un Estado en desarrollo, y los beneficios incluirían comunicaciones avanzadas, una plataforma para mejorar la tecnología y la información geográfica, así como la ampliación de capacidades para la defensa y la inteligencia; los activos espaciales serían considerados por las modernas fuerzas militares como "multiplicadores de fuerza" indispensables, que mejoran sus capacidades a través del reconocimiento, la vigilancia del clima e incluso imágenes en tiempo real. Por tanto, por razones de seguridad nacional y desarrollo, los activos basados en el espacio se han convertido en la condición *sine qua non* de las políticas de defensa nacional de todos los Estados con capacidades espaciales, razón por la cual Estados como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, México, Perú y Venezuela, simplemente están desempeñándose como actores racionales, siguiendo el camino iniciado por los Estados que los precedieron durante el periodo de Guerra Fría; es decir, el espacio se ha arraigado irrevocablemente en el tejido de los intereses nacionales y la psique de la opinión pública de estos Estados, tal como ha ocurrido con los más poderosos del sistema internacional.

Pero lejos de considerar el tema de exclusiva utilidad militar o cuya aplicación se limite a objetivos de defensa, es imperativo que el estudio y aprovechamiento del espacio corresponda a un esfuerzo colectivo y colaborativo interagencial de un Estado que busca el bienestar de sus ciudadanos, ya que la necesidad de conocimiento y posterior avance para alcanzar el espacio exterior, trasciende incluso las fronteras geográficas y se convierte en un esfuerzo de interés global. Sellers (2005) proporciona algunas razones por las cuales la investigación y exploración del espacio ultraterrestre resultan vitales para los intereses de la civilización:

En primer lugar, el espacio ofrece una perspectiva global terrestre geográfica, social y geopolítica. El sentido común dicta que entre más alto se esté, más superficie de la Tierra puede verse. El uso de las imágenes satelitales se considera una herramienta muy conveniente para medir patrones geográficos, pues proporciona una visión de la configuración del terreno en áreas afectadas por fenómenos naturales o antropogéni-

cos. Chuvieco (1999) da cuenta de este potencial uso de imágenes satelitales, cuando menciona su utilización para medir los cambios que sufrió una región costera de España como resultado de grandes incendios a comienzos de la década de los 90. De igual forma, la tecnología satelital ha permitido monitorear condiciones que afectan la salud de una sociedad. En un estudio orientado a medir la exposición a material particulado que afecta a la población globalmente (Van Donkelaar, Randall, Brauer y Boys, 2015), se logró establecer con exactitud los rangos de tal concentración en cada región del mundo. El uso de imágenes satelitales puede incluso abarcar el contexto geopolítico y las relaciones internacionales, ya que ha servido para dirimir por canales diplomáticos situaciones que afectan la estabilidad de una región, como es el caso de la localización de islas artificiales en el mar de China (Thayer, 2015).

Una segunda alternativa es el uso científico e industrial del espacio en condiciones difícilmente alcanzables en la Tierra, como un ambiente de “caída-libre” y de microgravedad. Ejemplo de ello es la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés); un laboratorio único para realizar investigaciones que afectan la salud humana tanto en el espacio como en la Tierra (Rainey, 2015). Gracias a las investigaciones allí realizadas, se ha logrado una mejor comprensión de los procesos fisiológicos básicos normalmente condicionados por la gravedad, que pueden ser alterados con nuevas tecnologías médicas y protocolos desarrollados por la necesidad de cuidar la salud de los astronautas. Los avances en telemedicina, modelos de enfermedades, sistemas de respuesta al estrés psicológico, nutrición, comportamiento celular y salud ambiental, son solo algunos ejemplos de los beneficios que se han obtenido con el entorno único de microgravedad. Por otro lado, las condiciones de caída libre en el espacio permiten procesos de manufactura novedosos. Las características de uniformidad de los materiales en aleaciones metálicas y su temperatura y presión para la combustión son afectadas por variables tales como la presión de oxígeno y la fuerza de la gravedad en la superficie (Steinberg, Wilson y Benz, 1992) 316 stainless steel, iron, and titanium, and sheets and meshes of 316 stainless steel in the 2.2-s drop tower at NASA Lewis Research Center. In microgravity, the metals (and alloys). Las condiciones en el espacio pueden resultar en compuestos de aplicación industrial con características exóticas y altamente útiles para la civilización.

Otra razón para su exploración y explotación es que el espacio puede ofrecer abundantes recursos para quien acceda a él. Mientras los investigadores coinciden en el agotamiento de los recursos en la Tierra, puede decirse que el Sistema Solar ofrece una reserva incalculable de energía y minerales para sostener la expansión de la civilización más allá de las capacidades del planeta. El ilimitado acceso a energía solar,

ahora solo utilizada por dispositivos en órbita y naves espaciales, puede ser aprovechado en el futuro para reducir los costos de producción energética, sin mencionar el potencial beneficio de explotar en el espacio minerales como el aluminio, o elementos tales como el oxígeno y el agua, cuyo alcance limitado puede darse en menos de dos décadas (Piccolo y Zangani, 2007).

Por estas razones, el ambiente espacial no debe estar limitado a la competencia exclusiva de las agencias gubernamentales. Se ha visto recientemente el caso de Space X, Blue Origin, Virgin Galactic y otras compañías privadas que se han involucrado en la investigación y la exploración espacial y están avanzando de manera tal, que resulta coherente pensar en una autonomía corporativa para este campo y, desde luego, la generación de negocios que involucren el uso de la órbita terrestre y del espacio. Paralelamente, la academia, las universidades e institutos de investigación se convierten en actores preponderantes como generadores de nuevo conocimiento, profundizando y difundiendo el interés científico que impulsa la exploración espacial y los desafíos tecnológicos futuros que se proyectan en ella. La transdisciplinariedad que sugiere un esfuerzo tan complejo como acceder al espacio, no solamente se limita a áreas como la astronomía, la astrofísica o la ingeniería, sino que el sector representa un crisol de ciencias como la biología, geología, psicología y medicina, que brindarán nuevas oportunidades. Con todos estos elementos, puede decirse entonces, que la sociedad en general está inmersa en una nueva era de interés por el campo espacial, cuyo objetivo último es el desarrollo de la generación de mejores condiciones de vida.

Con nuevos actores en el escenario, resulta indispensable contar con un marco normativo espacial que identifique a las partes interesadas y entienda sus interacciones. La exactitud y congruencia en su diseño permitiría el logro de los intereses nacionales a través de los sistemas espaciales, el impulso de la industria aeroespacial doméstica y la priorización de los recursos existentes hacia tales objetivos. Los beneficios esperados asegurarían la proyección coherente del sector y garantizarían una planeación coordinada para alcanzar los objetivos estratégicos que en esta materia definen los países.

3. Panorama del Contexto Espacial en Latinoamérica

En la actualidad, las actividades espaciales civiles afectan la vida cotidiana de todos los ciudadanos y también condicionan el interés nacional de los países desde múltiples formas. El uso y aprovechamiento del espacio juega un papel fundamental en la forma de gobierno, los negocios, las comunicaciones y los servicios de posicionamien-

to y navegación, así como en el monitoreo y pronóstico del clima y en la producción de información para la agricultura, la planificación del uso del suelo y la gestión de los recursos naturales; asimismo, en el crecimiento de las empresas comerciales que quieren llegar a ser más competitivas en sus regiones y a nivel mundial.

Por la importancia que representa para diversos sectores, la necesidad de contar con un programa espacial activo requiere de recursos económicos en el diseño, mantenimiento y operación del mismo. Presupuestos significativos como el estadounidense con la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés), cuya asignación anual es cercana a los US\$ 19.000 millones, además de organismos similares como la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), que emplea una suma de US\$ 5.000 millones y la Agencia Espacial Japonesa (JAXA, por sus siglas en inglés), que destina US\$ 2.460 millones (Giraldo, 2016), dan muestra de las implicaciones de estructurar un programa espacial ambicioso. Aunque no hay certeza en las cifras, por lo restrictivas que suelen ser las fuentes oficiales respecto a los datos entregados, expertos afirman que en países como Rusia, China e India, el presupuesto destinado bordea los US\$2.000 millones (Dickerson, 2015).

Lejos de compararse con inversiones notables que solo ostentan Estados desarrollados, algunos países latinoamericanos han venido incursionando en el desarrollo de programas y agencias espaciales, ceñidos a la limitación de su presupuesto, pero con la firme convicción de contar con una capacidad estratégica para su seguridad y desarrollo. Este es el caso de países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, México, Perú, Ecuador y Venezuela, que han visto en el uso del espacio un medio para la protección de sus intereses nacionales y a la vez, un recurso para el desarrollo y fortalecimiento de las telecomunicaciones, la agricultura y la ciencia.

3.1 Caso Argentina

La historia espacial en Argentina tiene su origen en la llegada de científicos europeos una vez concluida la Segunda Guerra Mundial. En efecto, inmediatamente después del final de este conflicto, los líderes de Argentina expresaron interés e incluso apoyo financiero para el desarrollo de armas nucleares y tecnologías de misiles balísticos; pero aunque en algún momento Argentina tenía ambiciones y la tecnología naciente que eventualmente lo habría convertido en un actor espacial más avanzado de lo que es en la actualidad, el gobierno de ese país, después de la dictadura militar en 1983, rescindió públicamente los objetivos de desarrollar misiles y armas nucleares; la ironía en este rechazo radica en que Argentina había sido uno de los pioneros de

tales tecnologías en el mundo en desarrollo, al ser de los primeros países en construir aviones de combate (Harding, 2013).

Precisamente Argentina, durante la primera presidencia de Juan Domingo Perón (1946-1952), dio la bienvenida a científicos y técnicos alemanes y franceses de Vichy para ayudar a diseñar sus ambiciosos programas nucleares y de cohetes, y construir la fuerza aérea argentina, proyectos que estaban destinados a rectificar un equilibrio de lucha de poder su perenne rival: Brasil, que había recibido, por su parte, muchos de los armamentos modernos de Estados Unidos durante la guerra.

En este contexto, Kurt Tank, el diseñador alemán del famoso avión de combate *Focke-Wulf 190*, aceptó una oferta en 1947 para convertirse en el director de la Fábrica Militar de Aviones en Córdoba, Argentina. Allí, bajo el alias de "Pedro Matthies", Tank incorporó diseños argentinos con el suyo, construyendo el *Pulqui II*, uno de los primeros aviones de combate operacionales del mundo; luego, por recomendación de Tank, Perón traería al físico nuclear austríaco Ronald Richter a Argentina, para encabezar el Proyecto Huemul, un reactor de fusión nuclear¹.

No obstante, el interés formal en cohetes y vuelos espaciales en Argentina se remontaría al establecimiento de la Sociedad Argentina Interplanetaria en 1948, que fue la primera organización espacial privada en América del Sur y miembro fundador de la Federación Internacional de Astronáutica en 1951. El líder del grupo, Teófilo Tabanera, dirigió la campaña para que Argentina estableciera una organización espacial patrocinada por el Estado, que se formó en 1960 con Tabanera como director de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), dependiente de la Fuerza Aérea Argentina (Vera y Guglielminotti, 2014). En las décadas de los 60 y 70, se realizaron múltiples experimentos e iniciativas con cohetes sonda y globos atmosféricos lanzados desde diferentes lugares del territorio nacional, algunos en cooperación con países como Estados Unidos, Alemania y Brasil. De la misma manera, tuvo lugar el inicio de las telecomunicaciones satelitales, todo lo cual condujo a la generación progresiva de capacidades científicas y tecnológicas que comenzaron a posicionar a la Argentina en la vanguardia de la tecnología espacial en la región junto a Brasil.

A finales de la década de los 70, e inicios de los años 80, Argentina hizo énfasis en el desarrollo de cohetes, con el fin de lograr el acceso al espacio para la puesta en órbita de futuros satélites nacionales. Entre las iniciativas llevadas a cabo se destacó el *Cóndor II*, un misil con posibilidad de utilización civil y militar, avance que dio lugar

1. Después del derrocamiento de Perón en el golpe militar de 1955, Tank se mudó a la India, donde diseñó el primer caza a reacción de ese país, el cazabombardero Hindustan Murat HF-24. Allí también enseñó ingeniería aeronáutica al futuro presidente indio y fundador de los programas de misiles balísticos y espaciales, A.P.J. Abdul Kalam.

a la presión internacional para la suspensión del proyecto a través de la firma por parte de Argentina del Régimen de Control de Tecnología de Misiles (MTCR, por sus siglas en inglés), establecido originalmente en 1987 por Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido y los Estados Unidos, como un mecanismo para controlar la proliferación cada vez mayor de armas de destrucción masiva, particularmente armas nucleares, químicas y biológicas.

La década de los 90 implicó para el país un cambio de paradigma en materia de política económica tanto interna como externa, lo cual a nivel espacial se tradujo en la suspensión del proyecto *Cóndor II* y la posterior aparición de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) en 1991. Estos cambios dieron inicio a una época de cooperación con los Estados Unidos en materia satelital y la profundización del desarrollo de tecnología espacial, aunque sin la posibilidad de acceso directo al espacio (Vera y Guglielminotti, 2014). En 2005, el entonces presidente argentino, Néstor Kirchner, firmó un decreto que declaraba que la promoción de la tecnología espacial era una política estatal y una prioridad nacional; como resultado, Kirchner institucionalizó formalmente el programa espacial nacional de Argentina a través del Decreto Presidencial 350 en abril de 2007, que convocaba a todas las organizaciones científicas y de ingeniería patrocinadas por el Estado, incluidas CONAE, universidades estatales, el Instituto Aeronáutico Argentino y el Instituto de Investigación Técnica y Científica del Fuerzas Armadas (CITEFA), a trabajar conjuntamente hacia el objetivo declarado de construir lanzadores domésticos y proporcionar acceso al espacio, en particular, servicios satelitales de carga ligera.

El pronunciamiento de 2005 fue, en efecto, un llamado para despertar al programa espacial argentino de su letargo desde 1995. En ese mismo año, se lanzó el satélite italiano de observación de la Tierra *Cosmo-Skymed II* desde la Base de la Fuerza Aérea Vanderberg en California, y Argentina fue uno de los principales participantes en su control, a través de su estación ubicada en Córdoba. En consecuencia, en los últimos 15 años se han visto cambios sustanciales en el sector; es así como desde mediados de la década anterior, la CONAE ha aumentado su presupuesto en forma significativa, pues al igual que otras instituciones dedicadas a la ciencia, la tecnología y la innovación, volvió a incorporarse en la agenda del gobierno como parte de una política de recuperación de las capacidades nacionales en un contexto socioeconómico que busca servirse de ellas para impulsar el desarrollo luego de una de sus peores crisis económicas.

El complejo espacial argentino ha sido capaz de diseñar y desarrollar cuatro satélites de la serie SAC (Satélites de Aplicaciones Científicas): *SAC-A*, *SAC-B*, *SAC-C* y *SAC-D/Aquarius*, en estrecha cooperación con la NASA e instituciones de países como Francia, Italia, Canadá y Brasil. En la actualidad, se encuentran en diferentes fases de diseño

y desarrollo satélites de la familia SAC, así como otros pertenecientes a las series de satélites geoestacionarios de telecomunicaciones de la empresa estatal Argentina Satelital (ARSAT), de Satélites Argentinos de Observación con Microondas (SAOCOM), y Satélites de Alta Revisita (SARE). Estos logros del programa espacial argentino son notables, si se tiene en consideración que el CONAE cuenta con un presupuesto que bordea los US\$180 millones (Gobierno argentino, s.f.).

Además, la misión de proponer y ejecutar un Plan Espacial Nacional (PEN), que tiene el carácter de Plan Estratégico para las actividades espaciales, denota una clara política de Estado de prioridad nacional. La primera versión del PEN cubría el periodo 1995-2006, habiéndose realizado dos revisiones posteriores para generar el PEN 1997-2008 y el PEN 2004-2015, con una actualización en el año 2010. En tiempos más recientes, se cuenta con el PEN 2016-2027, cuyo objetivo fundamental es el desarrollo del conocimiento y la tecnología en el campo espacial que se concreta a través de los ejes de observación de la Tierra, exploración y utilización pacífica del espacio ultraterrestre y desarrollo tecnológico para uso espacial (Gobierno argentino, s.f.).

En lo que corresponde al eje de observación de la Tierra, se busca aprovechar en forma eficiente e innovadora la información captada desde el espacio exterior para el desarrollo de las aplicaciones requeridas por la sociedad, utilizando datos obtenidos ya sea de misiones de terceros con descarga de datos en el territorio nacional o de misiones propias generando valor agregado. Si este último es el caso, las misiones satelitales deben estar diseñadas e implementadas a partir de las necesidades concretas de los usuarios locales que emplean la información de origen espacial para el desarrollo de su trabajo, con una clara conciencia acerca de la concepción estratégica de la independencia de la fuente de los datos, incluyendo además su puesta en órbita a través de cohetes propios o de terceros. En función de la demanda y las necesidades identificadas, se han definido Sectores de Información (SI), agrupándolos en función de sus características en áreas estratégicas fuertemente interrelacionadas, las cuales cubren aspectos del medio ambiente (agua, cobertura terrestre, atmósfera y clima), del sector productivo (agropecuario y forestal, pesca, minería y energía), así como del campo social (salud, prevención y atención de emergencias, ordenamiento e integridad territorial y seguridad).

Con respecto al eje de exploración y utilización pacífica del espacio ultraterrestre, éste se constituye en una herramienta importante para la inserción de Argentina en el ámbito de la investigación científico-tecnológica del espacio a nivel internacional, así como para la participación en misiones interplanetarias dentro del marco de la cooperación internacional. En este sentido, el plan prevé el desarrollo de tecnología de navegación global apoyada en satélites, conformada por los sistemas de aumentación que complementan las prestaciones que las constelaciones no pueden proveer por sí

mismas, además de la participación en iniciativas colaborativas de misiones robóticas y humanas a otros planetas, incorporando así al Estado argentino dentro de los países exploradores del espacio ultraterrestre.

En lo que atañe al eje de desarrollos tecnológicos para uso espacial, la CONAE ha buscado desde su creación contribuir en forma efectiva al avance nacional en los campos social, económico, ambiental y productivo, con un dominio completo de las tecnologías de uso espacial; y en el marco de la autonomía, el desarrollo de capacidades para construir y poner en órbita sus propios satélites con lanzadores nacionales. El camino hacia el dominio de esta tecnología, que al igual que la nuclear, ha requerido de desarrollos avanzados y estrictas normas de desempeño, impulsando a los sectores científicos, técnicos e industriales de Argentina hacia altos niveles de calidad. Los resultados de las nuevas tecnologías han promovido en todos los países que tienen actividades espaciales significativas, desarrollos de muy alto valor agregado en la cadena productiva; por ende, Argentina no ha sido una excepción, habiendo promovido a través de la Sociedad de Estado INVAP (creada en 1976), el desarrollo de las misiones satelitales argentinas, y debiendo continuar en esa tarea en procura del crecimiento y la creación de nuevas empresas que pueden pasar de ser proveedoras a creadoras y exportadoras de nuevas tecnologías de altísimo valor agregado (Gobierno argentino, s.f.).

El accionar en el campo espacial también ha contribuido a fortalecer los aspectos fundamentales del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), tales como recursos humanos, infraestructura, organización, articulación y coordinación, potenciando su capacidad para atender demandas ambientales productivas y sociales, optimizando además el uso de los recursos disponibles. Asimismo, ha impulsado la evolución de la industria argentina, ampliando su ámbito de competencia a nivel internacional con el aporte de alto valor agregado en su cadena productiva, dominando tecnologías críticas en el área espacial, difíciles de obtener en el mercado mundial. También facilita a los sectores científico y tecnológico argentinos, el acceso a nuevos conocimientos y a la creación de carreras específicas y especialidades relacionadas, abriendo fronteras que deben ser exploradas. En tal virtud, la ejecución y gestión del PEN se ha desarrollado a través de los siguientes cursos de acción (Gobierno argentino, s.f.):

- Uso y gestión de la información espacial: comprende la utilización, distribución y gestión de la información primaria y de productos derivados con valor agregado, además del desarrollo de las aplicaciones necesarias para satisfacer las necesidades de los diferentes sectores de la sociedad.

- Recepción de datos y control de satélites y lanzadores: incluye las actividades destinadas a planear, establecer y controlar los comandos, así como realizar las actividades de seguimiento, telemetría y comando (TT&C). Igualmente, recibir, procesar y almacenar datos requeridos dentro de la operación de las misiones satelitales propias y de otras agencias espaciales con las que se establezca algún tipo de acuerdo, además de realizar el seguimiento y control de los lanzadores satelitales.
- Sistemas satelitales: abarca el diseño, construcción y calibración de los instrumentos, así como la integración y ensayos de calificación de los satélites hasta su entrada en operación en órbita. Incluye también la integración de satélites propios con los de otras agencias espaciales conformando constelaciones que operen como un todo.
- Acceso al espacio: busca desarrollar el Programa de Inyector Satelital para Cargas Útiles Livianas (ISCUL) para la puesta en órbita de satélites propios, así como de las instalaciones auxiliares de ensayos, integración y plataforma de lanzamiento y de la planta de producción de propelentes. También asegura el lanzamiento de los satélites propios a través de terceros.
- Integración, ensayos y calificación: comprende disponer de las instalaciones y realizar la integración y ensayos, así como la calificación para uso espacial de partes, componentes y materiales desarrollados para los lanzadores y satélites propios. Incluye la selección de partes y componentes de fabricación convencional para asegurar que soporten las condiciones operacionales en el ambiente espacial.
- Exploración y utilización pacífica del espacio ultraterrestre: contempla la participación en la exploración y utilización pacífica del espacio ultraterrestre, desde las cercanías de la Tierra hasta el espacio lejano, y la cooperación en el desarrollo de sistemas y componentes para misiones interplanetarias como parte de la inserción internacional nacional en el ámbito de la investigación científico-tecnológica en el espacio exterior, así como la colaboración en estaciones de las Redes del Espacio Lejano instaladas en territorio nacional.
- Educación y capacitación: incluye la formación de expertos y especialistas, además de la capacitación de usuarios específicos, docentes y alumnos de nivel primario y secundario y la formación masiva de usuarios para el uso de la información de origen espacial.
- Vinculación nacional e inserción internacional: implica las acciones necesarias para difundir y promover la información espacial y su utilización en todas las áreas y niveles de gobierno y de los sectores científico, técnico y empresarial, así como impulsar la cooperación internacional y fortalecer la integración regional.

El actual PEN incluye entre sus principales objetivos la fabricación en la Argentina, dentro del marco de un acuerdo de cooperación con la Agencia Espacial Italiana, de los satélites de Observación de la Tierra *SAOCOM 1A* y *SAOCOM 1B*, con aplicaciones en la medición de la humedad del suelo, la detección de derrames de hidrocarburos en el mar y el seguimiento de la cobertura de inundaciones. De la misma manera, la fabricación del lanzador argentino de satélites *Tronador II*, con la capacidad de colocar en órbita polar de 600 kilómetros de altura, satélites de hasta 250 kilogramos.

La razón principal para el desarrollo del lanzador doméstico de Argentina, según CONAE, es que el país no puede continuar dependiendo de los Estados Unidos o de otras naciones para llevar sus satélites al espacio y que los altos costos de lanzamiento de los proveedores "aceptables", hacen que el desarrollo de un lanzador argentino sea la alternativa menos costosa. Para esto la CONAE cuenta con el Polo Espacial de Punta Indio, provincia de Buenos Aires, inaugurado en diciembre de 2014; adicionalmente, estaría adecuando una base de lanzamiento de cohetes en Puerto Belgrano (Télam, 2017).

Por otra parte, el PEN contempla la implementación del concepto "arquitectura segmentada", el cual surge como consecuencia de la necesidad de responder rápidamente a las demandas de los usuarios de datos de observación de la Tierra desde el espacio. Se trata del desarrollo tecnológico de una nueva generación de satélites e instrumentos, mediante el uso de un conjunto de pequeñas plataformas o segmentos que, operados en forma coordinada, proporcionen respuestas equivalentes o mejores a las que es posible obtener mediante una única plataforma de mayor tamaño (Télam, 2017).

En resumen, Argentina es uno de los países latinoamericanos con amplia experiencia en el desarrollo de proyectos e iniciativas espaciales que, a pesar de lo ambicioso de su PEN, se ha visto limitado por situaciones políticas internas, económicas y geopolíticas. Sin embargo, nuevos vientos parecen estar corriendo en cuanto a logros conducentes al afianzamiento creciente de capacidades, conocimiento y experiencia que le permitan consolidar su visión estratégica de desempeñar un papel significativo en los asuntos espaciales, indistintamente de su posición en la escena económica y política global.

3.2 Caso Brasil

Brasil ha sido un Estado pionero a nivel latinoamericano en la participación en actividades espaciales, ya que ha trabajado decididamente en proyectos satelitales, así como en la construcción y operación de cohetes, sondas y vehículos de lanzamiento satelital (Fontes y Roma, 2017). El desarrollo del programa espacial de Brasil ha evolucionado como una extensión natural de la estrategia a largo plazo del país para

establecerse como potencia regional en América del Sur (Álvarez et. al, 2018), y en la región del Atlántico Sur. Según Pereira (2008), la actual política espacial de Brasil podría resumirse en tres objetivos generales: 1) ejercer soberanía sobre su vasto y rico, pero escasamente poblado interior geográfico; 2) desarrollarse económica y militarmente para obtener una posición de liderazgo regional presumiblemente merecida y 3) para eventualmente recibir reconocimiento como potencia mundial.

Formalmente, las actividades espaciales en Brasil comenzaron en 1961, con la creación de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CNAE) en São José dos Campos, a fin de establecer las políticas del sector, las cuales eran definidas por especialistas y no propiamente por dirigentes públicos. Los reducidos recursos asignados provenían del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), dentro de un marco de cooperación con la NASA para el lanzamiento de pequeños cohetes de experimentación científica y capacitación en teledetección (Câmara dos Deputados, 2010).

Brasil fue uno de los pioneros en la institucionalización de la investigación espacial, cuyo foco principal era constituir competencias en ciencias espaciales y atmosféricas, observación de la Tierra y meteorología y telecomunicaciones. En 1965 fue inaugurado el Centro de Lanzamiento de Barreira do Inferno (CLBI), en Natal, desde donde se lanzó el primer cohete sonda *Nike-Apache* de origen estadounidense. En 1966 fue creado el Grupo Ejecutivo y de Trabajos y Estudios de Proyectos Espaciales (GETEPE), como responsable de planear el desarrollo de cohetes para involucrar al entonces Ministerio de Aeronáutica, con los trabajos de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CNAE). En este primer periodo, el énfasis de las actividades estuvo en la formación del cuerpo de científicos e investigadores especializados en ciencias e ingeniería espaciales, a fin de dotar al país con la competencia de uso del espacio ultraterrestre.

En 1969 el GETEPE se convirtió en el Instituto de Actividades Espaciales, y posteriormente, en el Instituto de Aeronáutica y del Espacio (IAE). En 1971 fue creado el actual Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE), a partir del CNAE; también en ese año, la Comisión Brasileira de Actividades Espaciales (COBAE), con la misión de coordinar las actividades espaciales en su conjunto y asesorar a la Presidencia de la República. Asimismo, las décadas de los 60 y 70 estuvieron marcadas por la formación de maestros y doctores en ciencias generales, especialmente en cooperación con Alemania, en procura del desarrollo de capacidades de lanzamiento de cohetes; y posteriormente, con Francia, con quien Brasil firmó un acuerdo de adquisición de tecnología para el desarrollo de cohetes sonda que posibilitaron especificar los proyectos *Sonda II y III* (Câmara dos Deputados, 2010).

Entre 1974 y 1979 hubo una aproximación con China y con los países africanos, además del inicio de una cooperación con Alemania en el área nuclear y la suscripción de acuerdos con Francia para la formación de ingenieros en el desarrollo de lanzadores y satélites. La aprobación de la Misión Espacial Completa Brasileira (MECB) durante el lapso comprendido entre 1979 y 1985 con el propósito de desarrollar pequeños satélites de aplicaciones y un vehículo lanzador compatible, generó un marco para el programa espacial brasileño y permitió la consolidación del INPE. Sin embargo, la crisis fiscal resultante del endeudamiento, el estancamiento económico y la inflación, no permitió su progreso; solo hasta 1988, el país trabajó conjuntamente con los Estados Unidos en el área de experimentos aeroespaciales con cohetes sonda (Câmara dos Deputados, 2010).

Entre 1985 y 1990 tuvo lugar la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, lo cual representó un impulso para el INPE, que firmó una alianza con China para el desarrollo, fabricación y operación conjunta de satélites de teledetección de uso pacífico con una proporción del 70% de participación china y un 30% de participación brasileña. La presión internacional, especialmente de los Estados Unidos, llevó al país a firmar el Régimen de Control de Tecnología de Misiles (MTCR), cerrando la cooperación con Alemania para cohetes e iniciando un ciclo de dificultades de acceso a tecnologías sensibles. En 1983 se creó el Centro de Lanzamiento de Alcântara (CLA) y su posición geográfica fue considerada como la que ofrecía una mejor relación costo-beneficio para lanzamientos con una economía de combustible de hasta el 30%.

El lapso comprendido entre los años 1990 y 1992 fue crítico para el programa espacial, que perdió relevancia como programa estratégico. Se iniciaron los atrasos en programas tales como el Satélite Sino-Brasileño de Recursos Terrestres (CBERS), y el Vehículo Lanzador de Satélites (VLS), en parte por embargos impuestos por los Estados Unidos a este último, que también resultaron en la ruptura en 1991 de los acuerdos suscritos con la empresa francesa ARIANESPACE para la transferencia de tecnología (Câmara dos Deputados, 2010). En 1992 el Satélite de Recolección de Datos SCD-1 fue lanzado desde el cohete *Pegasus*, al mismo tiempo en que se daba inicio a la política de contingencia presupuestal para la formación del superávit primario, esto es, una política económica de intervención gubernamental que establecía límites a la producción, comercialización interna e importación o exportación de determinados productos.

En 1994 se creó la Agencia Espacial Brasileña (AEB) como sucesora de la COBAE para coordinar el Programa Nacional de Actividades Espaciales (PNAE), con el objetivo de capacitar al país para desarrollar y utilizar tecnologías espaciales en la solución

de problemas nacionales y en pro de la sociedad brasileña. Entretanto, en el lapso comprendido entre 1995 y 2002, el sector sufrió con las restricciones de la política económica y con las nuevas exigencias de contingencia presupuestal. En 1999 tuvo lugar el lanzamiento del satélite *CBERS-1*, en 2003 del *CBERS-2* y en 2007 del *CBERS-2B*. Igualmente, se realizaron tres tentativas de lanzamiento del *VLS* desde CLA en 1997, 1999 y 2003, respectivamente. En 2004, se renovó la alianza con China para desarrollar los satélites *CBERS-3* y *CBERS-4* (Câmara dos Deputados, 2010).

El accidente ocurrido en el lanzamiento del *VLS-1* en 2003, llevaría a Brasil a restablecer la alianza con Rusia, con la intención de apuntar a las causas del infortunio y proponer ajustes en el proyecto, que se mantiene como el principal programa del IAE. La alianza fue considerada como la base para retomar el proyecto de desarrollo y fabricación de vehículos lanzadores llamados *Cruzeiro do Sul*, que consideraba inversiones de US\$750 millones (valores de 2004), para la construcción de cinco cohetes en un periodo de 17 años, con el objetivo de atender las demandas brasileñas en el área de transporte espacial. Sin embargo, después de muchos ires y venires, este proyecto fue suspendido, no solo por aspectos técnicos, sino también económicos.

En la actualidad, Brasil sigue adelante con sus actividades espaciales a través de la AEB, una organización vinculada al Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones (MCTIC), responsable de formular, coordinar y ejecutar la política espacial brasileña. Desde su creación, la agencia trabaja para adelantar los esfuerzos del gobierno brasileño hacia el logro de la autonomía en el sector espacial (Agencia Espacial Brasileira, 2016). La AEB está conformada por una presidencia, el consejo superior, órganos de asistencia directa a la presidencia (gabinete, cooperación internacional y procuraduría federal), órganos seccionales (planeamiento, presupuesto y administración), órganos específicos singulares (políticas, planes e inversiones, acompañamiento y evaluación, infraestructura y normalización, coordinación de transporte espacial, desarrollo e innovación y satélites y aplicaciones) y unidades descentralizadas (Unidad Regional de Natal y Unidad Regional de Alcântara).

Desde 1964 la Política Nacional de Desarrollo de Actividades Espaciales (PNDAE), establece objetivos y directrices para los programas y proyectos nacionales relativos al área espacial, contando con el PNAE como el principal instrumento de direccionamiento y programación, a través del cual se busca la integración de la política espacial con las demás políticas públicas en ejecución en el país, por medio del fomento a la formación calificada, la captación y retención de especialistas capaces de dinamizar la cadena productiva espacial brasileña y de viabilizar el dominio sobre las tecnologías

críticas y de acceso restringido, así como de la participación de la industria, los centros de investigación y la academia (Agencia Espacial Brasileira, 2016). El Estado brasileño también tiene un papel fundamental en la consolidación de la cadena productiva espacial del país, actuando como coordinador de la industria aeroespacial, e impulsor tanto del desarrollo de sistemas espaciales completos, como de la creación de empresas integradoras gracias a su poder de compra. En tal virtud y dado el monto de los recursos presupuestales involucrados, el fin último de la política corresponde al de generar amplios beneficios y retornos para la sociedad.

El PNAE es un instrumento de planeación del Programa Espacial Brasileiro (PEB), que busca orientar sus acciones por periodos de diez años. Después de presentar un conjunto de orientaciones y directrices estratégicas, establece las principales misiones espaciales a ser desarrolladas en el periodo respectivo dentro del ámbito del Sistema Nacional de Desarrollo de Actividades Espaciales (SINDAE). El PNAE actual está en su cuarta edición y abarca el periodo 2012-2021, con un presupuesto de casi US\$240 millones (Krishnan, 2017), contemplando aspectos relacionados con las misiones, los medios de acceso al espacio, las aplicaciones y los programas científicos, tecnológicos y educativos asociados (Agencia Espacial Brasileira, 2016). El plan tiene como base tres focos estratégicos principales: sociedad, autonomía e industria. En el ámbito de la sociedad, el foco está en el desarrollo de aplicaciones utilizando los recursos y técnicas espaciales para responder a la demanda de soluciones a una diversidad de problemáticas y necesidades nacionales enfocadas en el bienestar de la sociedad. Estas necesidades cubren las áreas de telecomunicaciones, identificación y prospección de recursos naturales, seguimiento a cambios en el medio ambiente, vigilancia de fronteras y costas marítimas, meteorología y previsión del clima, alerta ante posibles desastres naturales, reducción de las desigualdades regionales y promoción de la inclusión social, tornándose necesario para el país disponer de datos e informaciones transmitidas por satélites para atender toda esta demanda.

En relación con la autonomía, el desafío está en la construcción y establecimiento en el país de competencias técnicas, científicas y tecnológicas en el área espacial, que le posibiliten actuar con autonomía en la selección de alternativas tecnológicas para atender problemas nacionales específicos relacionados con el territorio y la sociedad mediante el desarrollo de soluciones propias. Esto implica construir y desarrollar una capacidad tecnológica mínima para producir sistemas espaciales completos, involucrando satélites y vehículos de lanzamiento capaces de ponerlos en órbita, a partir de un centro de lanzamiento propio en el país.

En lo que tiene que ver con industria, es necesaria la adecuación del sector productivo brasileño para participar y adquirir competitividad en los mercados de bienes y servicios espaciales. Para tal efecto, la capacitación de mano de obra, la generación de estímulos a la innovación y la productividad, así como el dominio de tecnologías espaciales críticas son indispensables para el avance industrial y el logro de un mayor posicionamiento a escala global.

Desde 1996 la organización y ejecución de las actividades de la política son coordinadas por el SINDAE, que define a la AEB como el órgano central y coordinador general de su ejecución. Para apoyar el desarrollo de sus atribuciones, el Consejo Superior de la agencia está compuesto por representantes de diversos ministerios y órganos con actividades ligadas al área espacial, así como de miembros de la comunidad científica y del sector industrial. Existen otros órganos que hacen parte del SINDAE como es el caso del INPE del MCTIC, el Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial (DCTA) del Comando de Aeronáutica (COMAER) del Ministerio de Defensa (MD), el sector industrial aeroespacial, las universidades y los institutos de investigación. Estos órganos hacen parte del conjunto de ejecutores de los proyectos y actividades estratégicas del PNAE (Agencia Espacial Brasileira, 2016).

El INPE, con sede en São José dos Campos, tiene como misión producir ciencia y tecnología en las áreas espaciales y de ambiente terráqueo, además de ofrecer productos y servicios específicos en beneficio del país. El instituto trabaja desde hace más de 50 años en investigación, desarrollo y aplicaciones en el área espacial, ejecutando actividades que van desde el monitoreo anual de la deforestación y la dinámica de la cobertura de la superficie terrestre en la Amazonía, hasta el desarrollo de investigación e instrumentación para las ciencias espaciales. Es también un referente nacional en teledetección, ciencias espaciales, ciencias atmosféricas y del sistema terrestre, e ingeniería y tecnología espaciales. Igualmente, provee servicios operacionales de previsión del tiempo atmosférico y el monitoreo de la superficie terrestre, así como de rastreo y control de satélites, análisis del impacto de incendios, rayos y polución atmosférica, junto con pruebas y ensayos industriales de alta calidad.

El DCTA, también localizado en São José dos Campos, es el órgano de dirección sectorial al que le compete planear, gerenciar, ejecutar y controlar las actividades relacionadas con ciencia, tecnología e innovación en el ámbito del COMAER. Con sedes en Brasilia, Alcântara, Natal y São José dos Campos, agrupa una fuerza de trabajo de alto nivel del orden de 5.500 servidores civiles y militares, entre ingenieros, investigadores y técnicos de diversas especialidades, que actúan en proyectos de vanguardia y de

gran valor estratégico para el país. Como ejecutores participantes, el SINDAE cuenta también con una base industrial con altos estándares técnicos y especialistas capacitados en la producción de cámaras ópticas, paneles solares, sistemas de propulsión, suministro de energía, estructuras mecánicas, control térmico y telecomunicaciones. El sector empresarial brasileño dispone también de una capacidad de integración de proyectos en sistemas espaciales y en el campo universitario; el país cuenta con seis facultades de Ingeniería Aeroespacial, reuniendo entre 200 y 300 alumnos que representan un involucramiento creciente en las actividades y proyectos espaciales.

Otro aspecto importante dentro del PEB es el establecimiento de alianzas para el desarrollo de proyectos, las cuales tienen el potencial de generar beneficios mutuos a los participantes. A través de ellas es posible facilitar e incrementar las inversiones, generando eficiencias al compartir costos y riesgos; pueden generar, a su vez, sostenibilidad a los programas y aumentar la cantidad de proyectos tecnológicos a desarrollar, impulsar la apertura de nuevos mercados, dinamizar la industria, generar empleos y soportar las políticas de investigación y desarrollo.

A nivel nacional, las alianzas son coordinadas por la AEB dentro del marco del PEB y cuentan con la participación del INPE y del DCTA, siendo este último responsable a su vez, del IAE, del CLA y del CLBI. Además de estas instituciones, se destacan alianzas importantes con otras de los sectores público y privado, dentro de las que se destacan órganos de fomento como es el caso de la Financiera de Estudios y Proyectos (FINEP), el CNPq, la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal del Nivel Superior (CAPES) y otras, que apoyan la implementación del programa. A nivel internacional, se considera a la cooperación como uno de los elementos esenciales para el éxito de los programas espaciales; en este sentido, la AEB dedica especial atención al tema con el objetivo de promover la capacitación científica y tecnológica del sector espacial brasileño a fin de atender las necesidades del país. Brasil cuenta con importantes acuerdos de cooperación espacial con países de todos los continentes, los cuales, en principio, son precursores de nuevos instrumentos internacionales de iniciativas conducentes al desarrollo bilateral y multilateral del programa espacial y a la obtención de nuevas tecnologías.

Por tanto, el creciente énfasis de Brasil en el desarrollo de sus capacidades espaciales se ha convertido en un componente vital de las estrategias de seguridad nacional y desarrollo socioeconómico del país. La justificación del gobierno brasileño para sus esfuerzos espaciales se expresa inequívocamente en una estrategia para el desarrollo soberano del país, debido a que un programa espacial exitoso le daría a Brasil una ventaja económica adicional sobre sus vecinos latinoamericanos, así como sobre la

mayoría de los otros Estados en desarrollo. Brasil ya es líder en América Latina en número y capacidad de satélites de telecomunicaciones y teledetección.

Pero, según Harding (2013), un obstáculo principal que enfrentaría el gobierno brasileño no es tanto técnico como burocrático; debido a la estructura tributaria proteccionista anticuada del país, importantes productores de satélites brasileños cortejan activamente lanzadores extranjeros, afectando así el objetivo de autonomía que tanto ha buscado Brasil. Además, la fuerza laboral de tecnología espacial del país es pequeña y está envejeciendo, y no hay suficientes jóvenes brasileños que estudien ingeniería y ciencias. Para abordar este obstáculo demográfico, el gobierno brasileño inició en 2011 un programa llamado "Ciencia sin Fronteras", que proporcionó 75.000 becas de ciencia y tecnología a estudiantes de pregrado y posgrado para estudiar en los Estados Unidos, Gran Bretaña o Alemania. Sin embargo, a pesar de algunos desafíos, y demostrando una capacidad de lanzamiento cada vez más prometedora, así como un programa de tecnología espacial local, Brasil ha logrado crear un programa espacial joven y funcional que rivaliza o supera a todos los demás Estados en desarrollo. Junto con sus bases tecnológicas y de recursos, el país está listo para usar esta capacidad de lanzamiento recién adquirida y promover su pretensión de ser una potencia mundial en expansión para el siglo XXI, así como un líder espacial en el contexto internacional.

En conclusión, Brasil cuenta con una amplia experiencia en el sector espacial, marcada por un interés claro por desarrollar una capacidad de lanzamiento propia para ponerla al servicio de las necesidades nacionales en áreas de trabajo prioritarias como es el caso de las telecomunicaciones y la observación de la Tierra, valiéndose para ello de esquemas de cooperación a nivel interno y externo. Sin embargo, aún no ha logrado el éxito esperado, por lo que es de esperar que la continuidad a las actividades previamente desarrolladas sobre el particular concluya exitosamente, a fin de que Brasil se consolide como el primer país latinoamericano en contar con la suficiencia para poner cargas en el espacio para sí mismo y para otros actores interesados, ya sean del ámbito público o privado. Para ello cuenta, además del bagaje técnico, con todo un marco organizacional, de gobernanza y de interacción entre la triada Estado-industria-academia, que, aunado a la voluntad política, contribuyen al logro de tal objetivo.

3.3 Caso México

México cuenta con un amplio recorrido en temas espaciales que data de diciembre de 1957, cuando lanzó el cohete sonda *Física I* con el objetivo de estudiar las propiedades de la atmósfera. Esta experiencia continuó y es así como con el apoyo de

la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), entre 1959 y 1960, ingenieros mexicanos lograron construir y lanzar en forma exitosa los cohetes de combustible líquido SCT-1 y SCT-2, similares a los cohetes alemanes de la Segunda Guerra Mundial. Para la misma época, México comenzó a colaborar con los Estados Unidos, instalando en Sonora una estación rastreadora para las naves mexicanas y de la NASA (konbini.com, 2016).

En 1962 se creó la Comisión Nacional del Espacio Exterior (CONEE), a través de la cual se llevaron a cabo tres lanzamientos de cohetes: *Tototl* en 1962, que alcanzó una altura de 22 km; *Mitl 1* en 1967, que llegó a 50 km; y *Mitl 2* en 1975, con una elevación de 120 km (Lucero, 2017). En 1977, en una aparente falta de visión, el gobierno mexicano decidió no darle más continuidad a esta comisión. En la década de los 80, México volvió a la escena espacial con los satélites *Morelos I* y *II* conformando el Sistema Satelital Mexicano (Mexsat). Además, se llevaron a cabo varios experimentos espaciales diseñados por personal mexicano que se lograron a través de cohetes, misiones y naves foráneas, ya que en México no existía (ni existe) la infraestructura necesaria para lanzar misiones nacionales tan avanzadas (konbini.com, 2016).

Otro logro importante en la misma década corresponde al obtenido por Rodolfo Neri Vela, al convertirse en el primer astronauta mexicano en ir al espacio en la misión *STS-61-B*, llevada a cabo por el Transbordador Espacial *Atlantis*, y cuya finalidad principal era la de realizar la puesta en órbita de varios satélites, entre ellos el *Morelos II* (+ DE MX, 2017). Entre 1993 y 1994, México puso en órbita los satélites *Solidaridad I* y *II* para reemplazar los satélites del sistema *Morelos*; en 1996, estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) lanzaron en un cohete ruso el microsatélite *UNAMSAT B*, con la finalidad de realizar estudios estadísticos de impacto de meteoritos en la atmósfera terrestre (Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico, 2017).

En 2010 tuvo lugar la creación de la Agencia Espacial Mexicana (AEN), a partir de una iniciativa civil y académica que también promovió la ley conducente a su puesta en marcha, con el propósito de articular los centros de investigación además de incursionar en el desarrollo de servicios relacionados con la explotación del espacio exterior y temas relacionados. La AEN es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que forma parte del sector coordinado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con los siguientes objetivos (Rivera, 2017):

- Formular, proponer y ejecutar la política espacial de México, así como el programa nacional de actividades espaciales.

- Promover el desarrollo de actividades espaciales para ampliar las capacidades del país en las ramas educativa, industrial, científica y tecnológica en materia espacial.
- Desarrollar la capacidad científico-tecnológica del país a través de la articulación de los sectores involucrados.
- Promover el desarrollo de los sistemas espaciales y los medios, tecnología e infraestructura necesarios para la consolidación y autonomía de este sector en México.
- Facilitar la incorporación de los sectores relacionados y particularmente la participación del sector productivo.
- Promover una activa cooperación internacional mediante acuerdos que permitan la integración activa de México a la comunidad espacial internacional.
- Servir como instrumento de la rectoría del Estado en este sector.
- Velar por el interés y seguridad nacionales, mediante una estrategia que integre conocimiento científico y tecnológico, eficiencia, experiencia y capacidad de coordinación entre las entidades públicas de la administración federal.
- Garantizar y preservar el interés público y la protección de la población, como fundamentos del desarrollo, seguridad, paz y prevención de problemas de seguridad nacional.
- Recibir de las entidades públicas, privadas y sociales, propuestas y observaciones en el área espacial para su estudio y consideración.

La estructura de la AEN está conformada por una Junta de Gobierno, una Dirección General, un órgano de vigilancia y las estructuras técnicas y administrativas que determinan el estatuto orgánico. La Junta de Gobierno está integrada por miembros de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Secretaría de Gobernación, la Secretaría de Relaciones Exteriores, la Secretaría de Educación Pública, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Secretaría de la Defensa Nacional, la Secretaría de Marina, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la Academia Mexicana de Ciencias, la Academia de Ingeniería, la Academia Nacional de Medicina, la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Rivera, 2017).

En 2011 la AEN publicó las líneas generales de la política espacial mexicana, que busca traducir el desarrollo científico, tecnológico e industrial aeroespacial mexicano, en oportunidades que le permitan al país competir a nivel global con sus correspondientes beneficios. Esta política cuenta con los siguientes objetivos (Rivera, 2017):

- Crear un marco institucional propicio para al desarrollo espacial de México dedicado a mejorar las condiciones y oportunidades de vida de la población.

- Asegurar que las actividades espaciales tengan un papel relevante en la protección y seguridad de la población.
- Articular los sectores público y privado para desarrollar sistemas satelitales con infraestructura y tecnologías propias.
- Establecer los criterios para el fomento de las actividades espaciales en México.
- Fomentar cadenas productivas que vinculen al sector industrial con los sectores académicos.
- Fortalecer la política de cooperación internacional en materia espacial.
- Estimular el crecimiento de una industria espacial autosostenible de clase mundial.
- Promover la expansión y la consolidación de una cultura del conocimiento espacial.
- Garantizar y preservar en la política espacial, los valores de desarrollo humano, seguridad y paz.

En 2012, la AEN y ProMéxico, el organismo gubernamental encargado de coordinar las estrategias dirigidas al fortalecimiento de la participación de México en la economía internacional, establecieron el documento Plan de Órbita: mapa de ruta del sector espacial mexicano, el cual recoge las perspectivas y propuestas de representantes de la industria, la academia y el gobierno. Cuatro años después y reconociendo que por la naturaleza del sector, cualquier estrategia encaminada a impulsar su desarrollo requería de actualización y retroalimentación periódicas, se efectuó su revisión para generar el documento Plan de Órbita 2.0, a fin de: incorporar los avances recientes del mercado espacial; proveer pautas de seguimiento a los acuerdos, proyectos y actividades de la versión inicial; definir líneas estratégicas específicas que toman en cuenta las nuevas tendencias y, proponer acciones concretas para desarrollar y fortalecer la industria en los años siguientes, coordinando los esfuerzos de las partes interesadas (Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico, 2017).

Dentro del documento se incluye un diagnóstico del estado de la industria espacial mexicana, el cual tiene relevancia para el establecimiento de la estrategia planteada en el mapa de ruta, concluyéndose igualmente que otros factores críticos a tomar en cuenta son el desarrollo de recursos humanos idóneos y de capacidades avanzadas de manufactura; la explotación de nuevos nichos de mercado; el apoyo gubernamental y la vinculación; la reducción de la brecha tecnológica y, el fomento a la cooperación internacional.

Como parte del diagnóstico se realizó una encuesta en línea, con participación de cerca de 300 instituciones relacionadas con la industria espacial mexicana en los sectores académico, empresarial y gubernamental, obteniendo que la industria electrónica

es la más relacionada con la espacial, no sin antes aclarar que el estudio no incluyó a la industria aeronáutica por considerarla no relacionada con el sector espacial. Después del electrónico, aparecen los sectores metalmecánico, de automatización y control y de nuevos materiales, como las siguientes industrias mayormente relacionadas con las actividades espaciales en México. El grupo encuestado también consideró a la manufactura espacial como un subsector prioritario seguido del de telecomunicaciones y del de la observación de la Tierra (Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico, 2017).

El aparte correspondiente al análisis de las tendencias globales y sectoriales provee información clave para comprender el rumbo del sector espacial a nivel global, identificando a su vez las probables afectaciones en el desarrollo de la industria espacial en México. Dentro del documento se presenta una estrategia del sector espacial mexicano basada en cuatro ejes temáticos: 1) eje de innovación y nichos de oportunidad para la industria y servicios convergentes; 2) eje de autodeterminación en el desarrollo de las actividades espaciales y cooperación para el fortalecimiento del sector espacial mexicano; 3) eje de impulso a la cadena de valor del sector e impulso al desarrollo industrial, productos y servicios y 4) eje de acceso digital y desarrollo de contenidos y soluciones (Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico, 2017).

En lo que corresponde al eje de innovación y nichos de oportunidad para la industria y servicios convergentes (observación de la Tierra, protección civil y cambio climático, entre otros), se contempla la exploración y aprovechamiento de nichos de mercado en los que México puede desarrollarse, teniendo en cuenta las capacidades actuales y potenciales de participación del sector privado. También incluye la definición y coordinación del marco regulatorio necesario para incentivar y generar competitividad a nivel internacional. Con respecto al eje de autodeterminación en el desarrollo de las actividades espaciales y cooperación para el fortalecimiento del sector espacial mexicano, se establece la necesidad de que México cuente con la posibilidad de decidir sobre su acceso al espacio, incluyendo sus posiciones orbitales actuales y futuras, la capacidad de desarrollo de naves espaciales y la posibilidad de su puesta en órbita y control en el espacio.

En lo relativo al eje de impulso a la cadena de valor del sector e impulso al desarrollo industrial, productos y servicios, el enfoque está en el desarrollo de las capacidades industriales y de infraestructura necesarias para que México tenga una activa participación en el mercado espacial internacional. Dado el tamaño de la economía del país, se considera como alta la probabilidad de que México tenga una participación significativa en alguno de los segmentos de la cadena de valor global de la industria espa-

cial, incluyendo el de los puertos espaciales. En lo pertinente al eje de acceso digital y desarrollo de contenidos y soluciones, está enfocado en el desarrollo de capacidades para incrementar el grado de conectividad del país y la explotación de oportunidades en cuanto a contenidos y aplicaciones basadas en servicios en línea.

A partir del establecimiento de los ejes temáticos, se definieron los siguientes hitos con sus respectivos proyectos estratégicos (Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico, 2017):

Hito 1: en 2035, México atiende las necesidades de los mercados públicos y privados convergentes ligados al sector espacial y se posiciona entre los tres líderes mundiales a través del logro de una participación del 40% en el mercado global, incluyendo el uso de tecnologías espaciales para la atención de la población y el cambio climático. De forma no exhaustiva, algunos de los mercados a considerar son: satélites de observación y sus aplicaciones en cambio climático, alerta temprana, seguridad nacional, sector agropecuario y gestión de recursos; manufactura 4.0; diseño de hardware y software para las plataformas y componentes espaciales; operación de sistemas satelitales y sus aplicaciones; aplicaciones de los sistemas satelitales de navegación global (GNSS) en posicionamiento, sincronización, gestión y supervisión y, aplicaciones en salud y educación.

Ahora bien, como proyectos estratégicos dentro del marco de este hito se encuentran: actualización del inventario de capacidades industriales, de innovación y servicios, vigilancia tecnológica de las capacidades y estado del arte; extender las capacidades de la red de innovación y validación de soluciones para el sector espacial; consolidación del repositorio nacional de gestión imágenes y datos satelitales; fortalecimiento del Comité Técnico Nacional de Normalización del Espacio como órgano de normalización del sector espacial y coordinación con la Entidad Mexicana de Acreditación para la acreditación de laboratorios del sector; establecimiento del clúster mexicano de organizaciones, industrias y servicios ligados al espacio; desarrollo de una estrategia de diseño, manufactura y puesta en servicio de satélites pequeños (proyecto integral y detonador); realización de estudio de análisis de mercados estratégicos y de oportunidad para el país en materia espacial y, desarrollo de estrategias especializadas para los mercados estratégicos definidos por el estudio.

Hito 2: para 2036, garantizar el acceso al espacio afianzando la capacidad de decisión para la preservación y ampliación de los recursos de órbitas y del espectro radioeléctrico correspondiente y el establecimiento de dos posiciones orbitales adicionales. Los siguientes proyectos estratégicos hacen parte de este hito: definir ex-

plícitamente las competencias de los organismos nacionales en la identificación y el seguimiento de las fechas de reposición de los satélites y establecer los mecanismos y políticas que garanticen un programa de conservación y ampliación de las posiciones orbitales satelitales y las frecuencias necesarias; política y bases de coordinación y planeación para garantizar la gestión de las órbitas y el espectro radioeléctrico asociado; actualización de catálogo integral de capacidades de laboratorios asociados y, creación de la primera red de grupos de inversionistas de capital de riesgo para proyectos de infraestructura espacial.

Hito 3: para 2026, se tendrá un papel reconocido en el desarrollo de componentes, productos y servicios, con una participación de aproximadamente 1% del mercado global, equivalente a US\$3 mil millones. Este hito contempla los siguientes proyectos estratégicos: análisis de prospectiva tecnológica para la vinculación del sector nacional de tecnologías de la información con el sector espacial; política y bases de coordinación y planeación para dar certidumbre y fomentar las actividades para el desarrollo de lanzadores en México; integrar un grupo gestor multidisciplinario para la identificación y análisis de mercados estratégicos y de oportunidad para el país en materia espacial, desarrollo de estrategias especializadas en función de los mercados de alto valor identificados, y desarrollar un programa piloto para lanzadores en territorio nacional; establecimiento de sistemas de compensaciones industriales para el sector espacial; desarrollo de estrategias para aumentar el contenido nacional en satélites y segmento terrestre y, desarrollo de estrategias de alianzas internacionales.

Hito 4: para 2026, desarrollar la infraestructura espacial necesaria para aumentar en 25% la cobertura de conectividad en América Latina. Los proyectos estratégicos aquí contemplados se relacionan a continuación: creación de la red latinoamericana de protección civil por tecnología satelital; desarrollo de la estrategia para lograr la integración nacional del 45% para aplicaciones del sistema de comunicaciones para seguridad nacional; análisis de alternativas de sitios para ubicación de puertos espaciales dentro del territorio nacional y disponibilidad de tales zonas y, desarrollo de puertos espaciales, aprovechando las capacidades nacionales tecnológicas y de innovación.

La implementación de la estrategia implicaría la articulación de diversos actores; el establecimiento de alianzas nacionales e internacionales en materias de innovación, financiamiento, legislación y cooperación tecnológica y científica; la definición de estructuras jurídicas y marcos regulatorios; el diseño de políticas públicas y, un elevado nivel de compromiso y coordinación entre los diferentes actores. En este sen-

tido, México estaría comprometido con el desarrollo del sector espacial, por lo que se dedicará a generar espacios de colaboración, unir esfuerzos, establecer alianzas, atraer inversiones y utilizar eficientemente los recursos disponibles para posicionarse como un polo de desarrollo espacial, reconocido a nivel internacional por su capacidad de coordinación y realización de trabajos de alto impacto socioeconómico, calidad e innovación (Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico, 2017).

En conclusión, la hoja de ruta propuesta por México para el desarrollo de su programa espacial parte de una base de experiencias previas que, a pesar de haber tenido sus altibajos a lo largo del tiempo, han derivado en la creación más o menos reciente de una Agencia Espacial con la finalidad de sacar adelante una estrategia que permita no sólo atender las necesidades nacionales sino también impulsar el establecimiento, la evolución y el posicionamiento de una industria espacial competitiva y sostenible. Sin embargo, no se está aprovechando el legado que ha traído en términos industriales la consolidación de una industria aeronáutica de alta vocación exportadora, cuyo éxito está soportado fundamentalmente en el cumplimiento de los exigentes requisitos del cliente, la industria y las autoridades regulatorias, por lo cual es posible que el camino por recorrer se haga aún más largo.

3.4 Caso Venezuela

Venezuela se ha mostrado ante la comunidad internacional como un actor importante en el escenario espacial suramericano. El interés inicial de Venezuela en las actividades espaciales es anterior a la revolución bolivariana, y comenzó en el contexto de los desafíos de desarrollo de la región andina, ya que a principios de la década de 1980, debido a los retos al desarrollo presentados por la geografía de la región (fragmentada por la cordillera de los Andes), Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (los cinco países del Pacto Andino), realizaron estudios técnicos y de viabilidad de satélites e identificaron una ranura en la órbita geoestacionaria para un sistema satelital andino. El sistema se llamaría *Proyecto Cóndor*, pero nunca vio la luz del día debido a las graves dificultades financieras sufridas en la región durante los años 80.

Pero a mediados de la década de 1990, el panorama político y económico de América Latina había mejorado, y la privatización, una vez anatema para muchos líderes latinoamericanos, fue adoptada como el modelo preferido de reforma económica. En ese contexto, el Comité Andino de Autoridades de Telecomunicaciones (CAATEL), junto con la Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Región Andina (ASETA), tomó la decisión en 1994 de avanzar en el proyecto satelital, con el nuevo nombre

de *Proyecto Simón Bolívar*. Posteriormente, el gobierno de Rafael Caldera solicitaría en 1996, una ranura orbital para el satélite de telecomunicaciones *Andesat*, que era propiedad exclusiva de inversores privados de los cinco países del Pacto Andino. Pero bajo el gobierno de Hugo Chávez, las actividades espaciales venezolanas asumieron un carácter decididamente más nacionalista; en noviembre de 2005, Chávez decretó la creación del Centro Espacial Venezolano (CEV), una subsección del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias (MPPCT); el nombre de la institución se cambiaría posteriormente en 2007, al de Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), como un organismo especializado, técnico y asesor responsable de ejecutar las políticas y lineamientos nacionales para el uso del espacio ultraterrestre con fines pacíficos, emanados del órgano rector en materia de ciencia y tecnología. Asimismo, se encargaría de concretar programas y proyectos espaciales, así como, generar regulaciones y normativas en la materia (Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, 2016).

Cuenta con una sede central en el Complejo Tecnológico Simón Rodríguez en Caracas, las Estaciones Terrenas de Control Satelital (ETCS) de Baemari en el Estado de Guárico, y de Luepa en el Estado de Bolívar, la Unidad de Sistemas de Aplicaciones Satelitales (SAT) en Caracas y el Centro de Investigación y Desarrollo Espacial (CIDE) en el Estado de Carabobo. Su organización está dividida en un Nivel de Dirección (Junta Directiva y Presidencia junto con su staff), un Nivel de Asesoría y Apoyo (Seguridad Integral, Consultoría Jurídica, Gestión Humana, Planificación, Organización y Presupuesto, Gestión Administrativa, Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Asuntos Internacionales y Atención al Ciudadano) y un Nivel Sustantivo (Aplicaciones Espaciales, Sistemas Espaciales, Ciencia, Formación y Desarrollo, Calidad, Normalización y Regulación e Investigación e Innovación) (Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, 2016).

Uno de los grandes hitos alcanzados en la era espacial venezolana corresponde al de la entrada en operación en 2008 del satélite de telecomunicaciones *VENESAT-1* o *Simón Bolívar*, construido y lanzado desde China con un costo cercano a los US\$400 millones, en una negociación que incluyó la fabricación del dispositivo, su lanzamiento, la implementación de dos centros de control y el entrenamiento de sus ingenieros (cnnespanol.cnn.com, 2018). Dentro de los servicios prestados por el Simón Bolívar se destacan la capacidad de proveer enlaces digitales (*Uplink/Downlink*) en las bandas C, Ku y Ka; Televisión Directa al Hogar (TDH); acceso a Internet y soporte a la red de telefonía móvil celular del Estado.

Con el satélite, se están impulsando la telemedicina y la teleducación, con lo cual éste se convierte en una herramienta para la inclusión social que permite además el desarrollo de amplios programas de investigación (Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales, 2016).

Otro hito importante corresponde a la entrada en operación en 2012 del satélite de observación *VRSS-1* o *Francisco Miranda*, construido por la empresa china *Great Wall Industry Corporation*, a un costo de US\$144 millones. Su vida útil fue estimada en cinco años y ha sido ofrecido a gobiernos de la región a través de acuerdos internacionales relacionados con educación, aplicación científica, protección ambiental, monitoreo y gestión de desastres, seguridad y defensa (Peña y Yumin, 2017). Finalmente, en octubre de 2017, fue lanzado el satélite de observación *VRSS-2* o *Antonio José de Sucre*, también desde China y cuyo empleo, de acuerdo con fuentes de gobierno, estaría enfocado hacia la seguridad alimentaria, la gestión de riesgos socio-naturales y la seguridad ciudadana (Agencia Venezolana de Noticias, 2017).

El interés inicial en las telecomunicaciones y teledetección ha evolucionado hacia el desarrollo de capacidades con el objetivo de incursionar en la construcción de satélites, en apoyo de las necesidades tanto nacionales como regionales, razón por la cual Venezuela implementó el CIDE a fin de fabricar satélites de hasta 1.000 kg. Además, actualmente lleva a cabo las siguientes actividades relacionadas con el espacio (Sarli et al., 2018):

1. Investigación y desarrollo en conjunto con el sector académico para fortalecer el currículo espacial en los centros de educación.
2. Desarrollo del curso Técnicas de teledetección espacial para el análisis de características geográficas, dictado en línea por ABAE, cuyo objetivo corresponde al de entrenar a profesores de las escuelas primarias y secundarias en el uso de imágenes satelitales para analizar el ambiente circundante a los centros educativos y promover la participación de comunidades locales en el desarrollo de políticas públicas en los niveles local y nacional
3. Promoción del desarrollo del sector espacial local a través del establecimiento de un centro de investigación de tecnologías asociadas a los pequeños satélites. El objetivo es impulsar las redes de investigación y el desarrollo de proyectos espaciales con la participación de sectores productivos locales en campos tales como materiales, electrónica, química, ingeniería, telecomunicaciones, educación, informática, geomática y geofísica, entre otros
4. Ejecución por parte de ABAE en conjunto con el sector académico, de varios proyec-

tos de investigación dedicados a producir mapas de gravedad absoluta, anomalías gravitacionales y anomalías en el campo magnético de Venezuela a partir de datos satelitales.

5. Fortalecimiento de capacidades espaciales locales a través del establecimiento del curso Entrenamiento integral en ciencia y tecnología espacial, el cual consta de los módulos de Operación y gestión de satélites, Ingeniería satelital y Gestión de proyectos satelitales, con la finalidad de reforzar las capacidades del personal de ABAE en estas áreas del conocimiento.

De igual forma, se encuentra en curso el desarrollo del proyecto satelital *VENESAT-2* o *Guaicaipuro*, en colaboración con China, cuya entrada en operación está prevista para el año 2022. Con relación a lo anterior, para lograr los objetivos trazados y como se hace patente, no solo a través del desarrollo de sus misiones satelitales, sino también de las demás iniciativas acometidas en materia espacial, ABAE ha utilizado la cooperación internacional como un mecanismo para fortalecer el programa espacial venezolano. Así las cosas, entre los acuerdos de cooperación suscritos por parte de Venezuela a través del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI) en los campos de ciencia y tecnología espacial, es posible citar alianzas con Brasil, China, India, Uruguay, Argentina y Bolivia. Como parte del mandato nacional, todos los acuerdos bilaterales deben incluir el desarrollo de proyectos espaciales en áreas específicas tales como observación de la Tierra, telecomunicaciones e investigación científica, además de la adquisición de capacidades, el entrenamiento de personal calificado y la transferencia de tecnología (Sarli et al., 2018).

En conclusión y de continuar adelante con la política espacial trazada en los últimos años, la experiencia acumulada por Venezuela a través de las actividades espaciales desarrolladas en los últimos años, así como el creciente papel de la cooperación internacional, son factores claves que sin duda alguna contribuirán a un desarrollo espacial cada vez más exitoso junto con su respectivo posicionamiento entre los países que dominan las tecnologías asociadas.

4. Otros Casos Regionales

4.1 Caso Bolivia

A pesar de ser uno de los países más pobres y menos desarrollados de América Latina, Bolivia ha seguido los pasos de sus vecinos en la búsqueda de la tecnología espacial como un medio para el desarrollo socioeconómico. Este país organiza sus actividades de investigación del espacio a través de la Agencia Boliviana Espacial (ABE), que

básicamente es una empresa pública nacional estratégica del Estado Plurinacional de Bolivia, creada en febrero del año 2010 y subordinada al Ministerio de Obras Públicas Servicios y Vivienda. Tiene como objetivo gestionar, implementar y administrar los proyectos espaciales del Estado, promover la transferencia tecnológica y brindar servicios en beneficio de los bolivianos (Agencia Boliviana Espacial, s.f.). Igualmente, tiene las siguientes funciones: gestionar y ejecutar la implementación del proyecto del satélite de comunicaciones *Tupac Katari*; promover el desarrollo de nuevos proyectos satelitales y espaciales; la transferencia y la formación de recursos humanos en tecnología espacial y, la implementación de aplicaciones satelitales para su uso en programas sociales, productivos, defensa, ambientales y otros.

La construcción y lanzamiento de su satélite emblemático, que se dio en diciembre de 2013 y cuya vida útil espera ser de 15 años, estuvo a cargo de la Corporación de Ciencia y Tecnología Aeroespacial de China a través de su subsidiaria Great Wall, como encargada de la fabricación y el lanzamiento del satélite. El costo del proyecto fue de US\$300 millones, incluido el artefacto y la construcción de dos estaciones de control en tierra; estos recursos fueron financiados en un 85% con un crédito del Banco de Desarrollo de China, y el 15% restante por el Estado boliviano. Una gran parte de estos recursos (US\$295,4 millones), estuvo destinada al artefacto tecnológico y el resto a obras de infraestructura, como las dos estaciones en tierra, según datos oficiales bolivianos (eltiempo.com, 2013). Hasta 2018, el lanzamiento del satélite ha retornado cerca de US\$100 millones y ha brindado cobertura a casi 3,5 millones de bolivianos, la mayoría de ellos habitantes de áreas rurales que previamente no tenían ningún acceso a Internet (Zambrana, 2018).

4.2 Caso Chile

Chile tuvo su primer contacto con la exploración espacial en 1959, cuando la NASA instaló en Antofagasta una estación de rastreo con el fin de apoyar la operación de las primeras misiones de cohetes sonda enviados por los Estados Unidos. Tiempo después, la misma agencia instaló en Peldehue, otra estación que con el tiempo pasó a depender exclusivamente de la Universidad de Chile, dando lugar con ello a la constitución del Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile (CEE) (Astronáutica Chile, s.f.). Desde ese entonces, y hasta la primera década de los años 2000, el CEE apoyó más de un centenar de misiones llevadas cabo por la NASA, entre tripuladas y no tripuladas, experiencia que generó la apropiación de conocimiento por parte de varias cohortes de ingenieros y técnicos que posteriormente hicieron parte de otras iniciativas nacionales en campos relacionados, además de misiones espaciales en otros países.

En 1980, se creó el Comité de Asuntos Espaciales (CAE), en el seno de la Fuerza Aérea de Chile (FACH), con el propósito de realizar una propuesta de política espacial nacional y elaborar un proyecto de ley para crear una agencia espacial como un servicio público con personalidad jurídica y patrimonio propio. Uno de los logros más importantes de este Comité corresponde al acuerdo suscrito con la NASA en 1984, mediante el cual se dio inicio al estudio aéreo del debilitamiento de la Capa de Ozono en la Antártida y se implementó la primera conexión satelital directa entre la red informática universitaria chilena y la red universitaria interamericana (Fuerza Aérea de Chile, s.f.).

En consecuencia, con los lineamientos generados por este Comité, en 1994 la FACH decidió acometer un programa de desarrollo espacial que contemplaba el lanzamiento de los microsátélites *FASat-Alfa* y *FASat-Bravo*, además de la implementación de una estación de control y seguimiento de satélites y la formación de ingenieros y oficiales en pregrado y posgrado en ingeniería aeroespacial y satelital en universidades de los Estados Unidos y el Reino Unido. El *FASat-Alfa* fue construido y diseñado por ingenieros de la FACH y de la Universidad de Surrey en Inglaterra, y lanzado al espacio desde el Cosmódromo de Plesetks, en Ucrania el 31 de agosto de 1995. Una vez en órbita y debido a una falla en el sistema de separación, el aparato nunca logró desprenderse del lanzador y alcanzar la órbita prevista (Astronáutica Chile, s.f.). Por su parte, el *FASat-Bravo* contaba con sistemas para monitorear la capa de ozono, tomar imágenes de la superficie terrestre y realizar experimentos para almacenar, bajar y subir información, incluida la de posicionamiento global, entre otras características; fue lanzado en 1998, desde el Cosmódromo de Baikonur. La FACH operó este satélite hasta junio de 2001, recopilando información de interés y acumulando experiencia en el desarrollo y empleo de tecnologías satelitales (Astronáutica Chile, s.f.).

En el año 2001, el Gobierno de Chile derogó el CAE y retomó el tema espacial mediante la creación de la comisión asesora presidencial denominada Agencia Chilena del Espacio (ACE), a la que se le encomendó en forma similar a la iniciativa anterior en esta materia, proponer una política espacial nacional y la elaboración de un nuevo proyecto de ley actualizado para crear una agencia espacial nacional como un servicio público. La ACE es parte del Ministerio de Economía y trabaja en la construcción de las bases legales y conceptuales que hagan sustentable el desarrollo espacial de Chile en las próximas décadas. Como ejemplo de este propósito, se elaboró el documento Política Espacial de Chile, cuya aprobación por parte del Poder Ejecutivo se encuentra en curso (Fuerza Aérea de Chile, s.f.). Los desarrollos satelitales chilenos tuvieron una interrupción hasta 2007, cuando se dio inicio al proceso de adquisición de un nuevo

satélite de observación de la Tierra, el cual se materializó con la firma de un contrato con EADS para el *FASat-Charlie*, el cual finalmente fue puesto en órbita el 16 de diciembre de 2011.

La Universidad de Chile cuenta con un programa espacial que tiene como objetivos la formación avanzada de capital humano, el desarrollo de equipamiento tecnológico y la prueba de nuevas investigaciones y desafíos en exploraciones científicas a través del uso de pequeños satélites. La idea de este programa surgió en 2010 con la primera misión del proyecto Satélite de la Universidad de Chile para la Investigación Aeroespacial (*SUCHAI*, por sus siglas en inglés), que se materializó con el respaldo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas con un aporte cercano a los US\$300.000 para la creación del Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria de la Casa de Bello, el diseño y construcción del vehículo espacial, además de las respectivas pruebas y certificaciones del satélite en Chile y en el extranjero, para luego contratar a la agencia internacional que lo puso en órbita el 23 de junio de 2017. Asimismo, ya hay dos versiones del nanosatélite en construcción: *SUCHAI 2*, financiada por un proyecto del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) y *SUCHAI 3*, con fondos que provienen del Proyecto Anillo del Centro de Física Experimental de la Universidad de Chile (OpenBeauchef, s.f.).

El 18 de marzo de 2019 tuvo lugar la firma del Acuerdo Marco de Colaboración en Materias Espaciales entre el Rector de la Universidad de Chile y el Comandante en Jefe de la Fuerza Aérea, con el propósito de establecer un mecanismo de colaboración para llevar a cabo el desarrollo y la consolidación de las actividades espaciales chilenas. A pesar de que ambas instituciones han mantenido programas espaciales con objetivos diferentes, en la última década, han sido los dos organismos dedicados a la creación de una política espacial, no solo con documentos y programas, sino también con la puesta en órbita de satélites y la obtención de información de interés para la nación (Díaz, 2019).

El 11 de julio de 2019 se realizó la presentación de los lineamientos generales del nuevo Programa Espacial Nacional (PEN) por parte de la Subdirección de Asuntos Espaciales de la Dirección de Operaciones de la FACH con base en las directrices del proyecto anunciado por la Presidencia de la República el 01 de junio del mismo año, que comprende la adquisición y puesta en marcha de un moderno satélite que funcionará en red con otros satélites y reemplazará al *FASat-Charlie*. Las funciones del sistema están centradas en la vigilancia y control del aire y el espacio, así como en el desarrollo de industria, infraestructura, medios aéreos y políticas dentro del ámbito aeroespacial.

El PEN se enfoca en el incremento de las capacidades del sistema espacial nacional a través de la creación de un sistema integrado para la observación de la Tierra y las telecomunicaciones de uso tanto para el sector público como privado. La estrategia por seguir se basa en la colaboración entre las diferentes partes interesadas para fortalecer el nuevo sistema, así como soportar el marco normativo, las capacidades tecnológicas, los activos espaciales e infraestructura asociada, la institucionalidad y los aspectos financieros. Así las cosas, las líneas de acción están enfocadas en fortalecer la industria nacional, apoyar las actividades de investigación, desarrollo, innovación y conocimiento, generar masa crítica para explotar nuevas capacidades y coordinar la cooperación nacional e internacional. Se plantea también contar con más estaciones terrenas, capacidades de fabricación nacional de nanosatélites y la implementación de geo-portales para la obtención y difusión de información a todo nivel (Aránguiz, 2019).

En conclusión, además de sus incursiones en la tecnología satelital, Chile se ha distinguido como un líder regional en materia de ciencia espacial. Los primeros proyectos incluyeron esfuerzos conjuntos con la NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA), como el Observatorio Paranal en el desierto de Atacama, que alberga el *Very Large Telescope* (VLT), de 4 telescopios² de 8,2 m; adicionalmente, posee 4 *Auxiliary Telescopes* (AT), de 1,8 m que pueden añadirse al VLT en caso de que los telescopios principales estén ocupados en otros proyectos; un VLT *Survey Telescope* (VST) de 2,5 m y el *Visible & Infrared Survey Telescope for Astronomy* (VISTA) de 4 m, con amplios campos de visión para examinar áreas extensas del cielo cósmico de manera uniforme. Al invertir más de US\$500 millones anuales en actividades espaciales y servicios satelitales (Harding, 2013), Chile ha promovido la aspiración de convertirse en un líder regional en cooperación espacial; en 2002, la ACE propuso la creación de una agencia espacial latinoamericana junto con Argentina, Brasil y México, similar a la ESA.

4.3 Caso Ecuador

Ecuador también ha adoptado las actividades espaciales como una herramienta para el desarrollo nacional, por lo que la experiencia de este país en programas espaciales ha sido continua durante más de 50 años. En 1957, Ecuador fue hogar de una de las primeras estaciones de control de satélites de la NASA, localizada al pie del volcán Cotopaxi, a 5.897 metros sobre el nivel del mar. En 1977, se creó el Centro para la Extracción Nacional de Recursos por Teledetección (CLIRSEN), con el objetivo de colaborar en la floreciente industria petrolera del país, y en 1982, CLIRSEN asumió el

2. El primer telescopio en entrar en operación fue *Antú* (Sol), en 1998; seguido en el año 2000 por *Kúyén* (Luna), *Yepún* (Venus) y *Melipal* (Cruz del Sur), en 2001. Estos telescopios tienen nombres tomados del idioma mapuche.

control operativo de las estaciones Cotopaxi de la NASA (cuando terminó su misión), y las transformó en estaciones para el procesamiento de datos satelitales nacionales.

No obstante, el momento de mayor prestigio espacial para Ecuador llegaría en 2003, cuando un ingeniero de sistemas llamado Ronnie Nader Bello, se convirtió en el primer ecuatoriano en recibir capacitación como cosmonauta en el afamado Centro de Entrenamiento de Cosmonautas Gagarin de Moscú, en 2007. A su regreso, y gracias a su fama nacional como cosmonauta capacitado, Nader Bello ayudó a fundar la Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (EXA), una organización de capital mixto y sin ánimo de lucro. Empero, EXA es parcialmente civil, ya que las Fuerzas Armadas del Ecuador (FAE) poseerían una participación del 50%, siguiendo la larga tradición de la FAE de ser propietaria de algunos negocios en el sector privado. Los objetivos establecidos por EXA eran: 1) desarrollar vuelos orbitales a una altura mínima de 100 kilómetros sobre el nivel del mar, para realizar al menos dos experimentos³; 2) enviar un astronauta a la Estación Espacial Internacional (ISS) por un mínimo de 10 días y 3) prever una misión lunar. Si bien podría cuestionarse la naturaleza demasiado ambiciosa de los objetivos del programa, el fin, declarado en la política espacial ecuatoriana para inspirar a toda una generación de ecuatorianos, coincidiría bien con la misión de desarrollo declarada del programa de EXA para producir una sociedad más científica y alfabetizada (Harding, 2013).

Ecuador cuenta también con el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), que tiene como misión impulsar la investigación científica y el desarrollo tecnológico espacial, además de incrementar la cultura aeroespacial en el país para contribuir a la defensa y el desarrollo nacional. Dentro de sus objetivos estratégicos se encuentran el incremento de las capacidades científico-tecnológicas aeroespaciales en el ámbito de la defensa y seguridad integral, la eficiencia operacional, el desarrollo de talento humano y el uso eficiente de los recursos presupuestales (Observatorio Virtual de Transferencia de Tecnología, s.f.), y cuenta con las siguientes áreas de investigación:

1. Observación espacial, a través de observatorios, telescopios, detectores y demás instrumentos utilizados para la captación de información, datos e imágenes espaciales, que permitan obtener un mayor conocimiento del Universo y la Tierra.
2. Astronáutica, mediante el estudio de la trayectoria, navegación, exploración y supervivencia humana en el espacio. Abarca tanto la construcción de los vehículos espaciales, como el diseño de los lanzadores que en un futuro se pondrán en órbita.

3. En mayo de 2008 se dio un paso específico hacia la realización de este objetivo, cuando EXA y la Fuerza Aérea Ecuatoriana presentaron un Sabreliner T-39 modificado, que podía imitar la microgravedad (a través de una ruta de vuelo elíptica relativa al centro de la Tierra), y ser una plataforma para realizar estudios que requirieran poca o ninguna gravedad. Llamado Proyecto Daedalus, este avión era el primero de microgravedad de este tipo en América Latina y colocaba al joven programa espacial de Ecuador en una posición para contribuir positivamente a las ambiciones espaciales del país y la región.

3. Clima espacial, correspondiente a la descripción de las condiciones siempre cambiantes del espacio. Las explosiones del Sol crean tormentas de radiación, fluctuación de los campos magnéticos y enjambres de partículas energéticas. Cuando llegan a la Tierra, interactúan de formas complejas con el campo magnético, dando origen a las correas de radiación y a las características tan complejas de la atmósfera terrestre.
4. Desarrollo y aplicación de tecnologías relacionadas con el uso y aplicaciones aeroespaciales en beneficio del desarrollo sostenible y la defensa planetaria, entre las que se destacan telecomunicaciones, observación de la Tierra, sistemas globales de navegación satelital (GNSS) y microgravedad.
5. Gestión del conocimiento y transferencia de tecnología como un proceso fundamental y fuente de valor agregado al servicio de todos los sectores sociales, las empresas, los organismos estatales, la academia y las fundaciones públicas y privadas, a fin de lograr la transformación y bienestar social, económico y cultural.

Sin embargo, el IEE fue una de las entidades cuya supresión fue ordenada por el ejecutivo ecuatoriano como parte de un paquete de medidas económicas, aunque sigue funcionando (Montenegro, 2019). Sus funciones serían asumidas por el Instituto Geográfico Militar, agencia cartográfica nacional del Ecuador, adscrita al Ministerio de Defensa y encargada de la planificación y control de las actividades relacionadas con la cartografía ecuatoriana en apoyo a la defensa, seguridad y desarrollo nacional.

4.4 Caso Perú

Perú ocupa un lugar especial entre los Estados latinoamericanos que desarrollan actividades espaciales, ya que el país fue hogar de Pedro Paulet, aquel que inventara el primer motor de cohete de combustible líquido del mundo en 1895, y el primer sistema moderno de propulsión de cohetes en 1900⁴. Según Wernher von Braun y Ordway III (1996, p. 23, "Paulet debe considerarse el pionero del motor de propulsión de combustible líquido (...) por sus esfuerzos, ayudó al hombre a llegar a la Luna". Eventualmente, Paulet pasaría a fundar la Liga Nacional de Aviación del Perú, precursora de la Fuerza Aérea Peruana.

Empero, la era moderna de las actividades espaciales peruanas partiría de la década de 1970, cuando por razones estratégicas, Perú fue uno de al menos 20 Estados en desarrollo que buscaban adquirir misiles balísticos (Karp, 1985), a saber, la larga disputa territorial con Ecuador, que culminaría en tres conflictos militares en el siglo XX.

4. Aunque el invento de Paulet nunca estuvo unido a un cohete en funcionamiento, se reconoce que fue decisivo en el fomento de los vuelos espaciales.

Entretanto, la primera experimentación de Perú en proyectos espaciales se produjo con su participación en experimentos de la atmósfera superior de la NASA en 1975 (*Proyecto Antarqui*), y mediciones de campo magnético ecuatorial en 1983 (*Proyecto Cóndor*), ambos realizados en la base de la fuerza aérea peruana Punta Lobos, ubicada en Pucusana, a 50 kilómetros al sur de Lima.

En Perú, las actividades espaciales están a cargo de la Comisión Nacional para la Investigación y el Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), entidad adscrita al Ministerio de Defensa y que cuenta con más de cuarenta años de historia. Su instalación más importante es el Centro de Lanzamiento de Punta Lobos, desde donde se han lanzado varios cohetes del tipo *Paulet 1B*, construidos enteramente en Perú y con capacidad de alcanzar la estratosfera (Román y Vargas, 2015).

En septiembre de 2016 fue lanzado el satélite *PERUSAT-1*, un dispositivo construido por Airbus Defence and Space y lanzado desde el puerto espacial de Korou en la Guayana Francesa. El acuerdo entre Airbus y Perú concretado en 2014 y cuyo costo fue de US\$188 millones, incluyó la construcción del Centro Nacional de Operaciones de Imágenes Satelitales (CNOIS) (Sarli et al., 2015). Otras capacidades que hacen parte integral de este acuerdo, comprenden la cobertura de comunicación desde la estación de control con el satélite, su rastreo y la recepción de imágenes satelitales, acceso controlado a la información recogida por la constelación de satélites de Airbus, y lo más relevante, transferencia de tecnología para ingenieros peruanos. El provecho del *PERUSAT-1*, cuya vida útil se estima en 10 años, pretende reflejarse para el país en áreas como la minería y la agricultura, así como en aplicaciones específicas para el catastro, control de la tala ilegal, narcotráfico, previsión de desastres naturales, deforestación y ubicación de derrames de petróleo, entre otras (Sarli et al., 2015).

Perú ha desarrollado cuatro misiones utilizando pequeños satélites. Dos de ellas corresponden al *PUCP-Sat 1* y el *Pocket-PUCP*, llevadas a cabo por parte del Instituto Peruano de Radioastronomía de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y puestos en órbita en 2013 desde el cosmódromo de Baikonur. Otra misión corresponde al nanosatélite Chasqui, implementada por la Universidad Nacional de Ingeniería y puesto en órbita en 2014 desde la ISS para fines de observación de la Tierra. Una última misión corresponde a la del nanosatélite *UAP SAT-1*, desarrollado por la Universidad Alas Peruanas y puesto en órbita por la NASA en 2014 (Sarli et al., 2018).

Cabe resaltar que Perú emitió en 2009 su primera política espacial nacional, en la que las actividades espaciales se identificaban oficialmente como un instrumento orientado exclusivamente al desarrollo sostenible; en dicha política se exhortaba a las entidades

públicas y privadas peruanas a contribuir al futuro espacial del Estado peruano, porque “sin ciencia y tecnología, el país no puede lograr el desarrollo, y sin desarrollo no hay seguridad” (CONIDA, 2009, p. 2). En efecto, la política espacial del Perú reconoce directamente la relación entre el desarrollo y las actividades espaciales, señalando el beneficioso efecto que los programas espaciales pueden tener en términos de soberanía, poder político, económico y de capacidades militares, además de numerosas ventajas socioeconómicas, incluida la investigación del cambio climático global.

5. Conclusiones

Tanto para los Estados desarrollados como para los Estados en desarrollo, la decisión de invertir en una política espacial nacional se ha basado no solo en el deseo de obtener avances tecnológicos en materia espacial, sino, cuando las circunstancias financieras y geopolíticas así lo permiten, en abordar las necesidades de seguridad nacional percibidas. De hecho, desde los albores de la era espacial, la única constante que podría discernirse sería la fuerte tendencia que existe entre los Estados con capacidad espacial para intentar utilizar los activos espaciales al servicio de la seguridad nacional y el desarrollo socioeconómico. Y si bien es cierto que no todos los Estados con capacidad espacial han seguido una opción espacial puramente orientada a la seguridad, una constante variable que interviene a la hora de perseguir un programa espacial, ha sido con frecuencia, la percepción de la posición que ocupa un Estado frente a otros en el sistema internacional (Álvarez et al., 2018).

En este orden de ideas, a medida que los Estados en desarrollo emergieron de las sombras de la hegemonía de las superpotencias de la Guerra Fría, muchos crearon sus propios programas espaciales, con el interés de demostrar la capacidad nacional, fomentar el prestigio internacional y concretar los sentimientos nacionalistas; tal ha sido el caso de algunos Estados latinoamericanos, geográficamente y económicamente diversos como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, México, Perú y Venezuela, que tomaron la consciente decisión política de desarrollar, o al menos intentar desarrollar, un programa espacial de largo aliento. Sus razones fueron tan variadas como sus circunstancias, pero cuando el espacio exterior se convirtió en un imperativo geopolítico (Álvarez et al., 2018), estos proyectos estratégicamente orientados exigieron un esfuerzo económico, dada la naturaleza costosa de los programas espaciales; pero la inversión en el espacio exterior crecería rápidamente, a medida que los gobiernos de estos Estados entendieron que los beneficios de la inversión superaban la lógica económica y transcendían al logro de los múltiples intereses de la seguridad multidimensional de dichos Estados.

Los logros espaciales de países como Estados Unidos, Rusia, Francia, China, Japón e India (entre otros), han sido una motivación para que los países latinoamericanos enfoquen sus esfuerzos en construir capacidades alrededor de la tecnología para el acceso y la utilización del espacio. Desde los inicios de la carrera espacial, la opinión regional ha estado atenta a los avances que las grandes potencias espaciales han conseguido, tomando diversas posiciones al respecto; en efecto, en un estudio llevado a cabo por la Universidad de Miami (Smith, 1964), se documentaron las diferentes opiniones que la prensa de los países de Latinoamérica asumía conforme se desarrollaba la era espacial. Aunque indudablemente, la percepción pública fue de admiración y entusiasmo para un campo que hasta el momento parecía inaccesible, resultó interesante evidenciar un rango de actitudes que variaban desde aquellas a favor de los adelantos científicos, hasta otras mucho más ambiguas donde el miedo a la polarización, la carrera armamentista y futuros escenarios de confrontación, surgían como argumento a la necesidad de iniciar programas espaciales en sus propios Estados.

Pudiera decirse que esta última percepción antagonista, ha condicionado de cierta forma la consolidación de un criterio colaborativo entre los programas espaciales en Latinoamérica. Los países de la región han seguido estrechamente el modelo político en el que los temas espaciales son de competencia y acceso exclusivo por parte de agencias estatales y más específicamente, de entidades militares; es decir, el contexto espacial para Latinoamérica ha estado ligado a temas de defensa. Siendo ésta una región con diferentes orientaciones políticas, donde incluso en las últimas décadas se ha manifestado la tensión entre integración y fragmentación, será complejo determinar la tendencia hacia una abierta colaboración entre los programas espaciales o una posición mucho más cautelosa en la que las políticas de seguridad y defensa sean el factor más relevante.

Asimismo, diversos cambios y situaciones geopolíticas forman parte de este dinámico contexto latinoamericano, siendo quizás el más importante el surgimiento de los liderazgos regionales de naturaleza heterogénea donde los proyectos alternativos afines al socialismo han sido compensados con posiciones geopolíticas de países más alineadas con las de los Estados Unidos y Europa. Estas tendencias políticas se ven reflejadas en la influencia que naciones históricamente hegemónicas puedan ejercer en los avances en la carrera espacial en Latinoamérica.

En el caso de los Estados Unidos, los intereses en materia de defensa estuvieron muy ligados a los de Latinoamérica, con acuerdos que establecieron una estrecha cooperación en la década de los 40 dentro del marco de la Segunda Guerra Mundial.

Sin embargo, desde comienzos de la Guerra Fría, estas relaciones se han debilitado (Laurencao, 2017), dando paso en el siglo XXI a actores como Rusia y China, que están ejerciendo una influencia importante en los programas espaciales de los Estados latinoamericanos. Argentina, Bolivia, Ecuador y Venezuela han recibido una importante asistencia técnica y en el campo de gestión de programas espaciales de la Federación Rusa y la República Popular China, mientras que Brasil, Perú y Colombia han utilizado los servicios del Cosmódromo de Baikanur en Kazajistán (el tiempo.com, 2017), bajo el control de Rusia.

En el intrincado contexto político latinoamericano, recientemente se planteó la creación de una agencia espacial suramericana como un proyecto integrador de la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR), creada en 2008 como una unión intergubernamental orientada a lograr una mayor integración de la región suramericana, pues en esencia agrupaba a dos instituciones aduaneras ya establecidas: Mercosur y la Comunidad Andina de Naciones (CAN) (Sarli et al., 2015). Tomando como modelo de colaboración regional a la ESA, muchas discusiones han tenido lugar en torno a establecer una Agencia Espacial Suramericana (SASA, por sus siglas en inglés), que posibilite la integración tecnológica en materia espacial de la región, facilite el acceso común al espacio y disminuya considerablemente los costos de investigación, lanzamiento y operación (Silva et al., 2016).

En noviembre de 2011, los ministros de defensa de Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Surinam, Venezuela y el viceministro de Uruguay, propusieron la creación de la SASA durante una reunión del Consejo de Defensa de UNASUR. La propuesta que inicialmente fue liderada por Argentina y que promulgaba la integración con fines pacíficos, ha encontrado resistencia en algunos de los estados miembros, en esencia, por la percepción de relación directa con la capacidad militar que sugiere el tema, la disparidad en el desarrollo tecnológico y el progreso de los programas espaciales de cada país, y principalmente, por las diferencias políticas que ponen en duda la credibilidad de la propia UNASUR como organismo de integración. Recientemente, seis países miembros decidieron no continuar su participación en UNASUR (cnn.espanol.cnn.com, 2018), con lo cual es cada vez más lejana la creación de la agencia espacial regional.

Con un panorama incierto en materia de colaboración hacia actividades espaciales, la arena latinoamericana queda condicionada enormemente al entorno político y el manejo que cada país dé a las relaciones exteriores con sus vecinos más próximos. Por otro lado, la dependencia tecnológica seguirá siendo un factor preponderante pues, aunque

sean tecnológicamente importantes los avances espaciales de los países latinoamericanos, puedan verse como modestos frente a los de naciones desarrolladas. Prueba de ello es que no se cuenta aún con la capacidad de poner un objeto en órbita. En ese orden de ideas, es posible vislumbrar que cada Estado de la región continuará con sus programas espaciales de manera autónoma (aislada), logrando hitos y objetivos acorde con sus intereses nacionales, pero eso sí, con la necesaria cooperación de países fuera de la región con mucha más experiencia e historial de logros en materia espacial.

Referencias

- Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales. (2016). *Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales: visión de soberanía estratégica que llegó al espacio*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZulfRx>
- Agencia Boliviana Espacial. (s.f.). *¿Qué es la ABE?* Obtenido de <https://www.abe.bo/nosotros/que-es-la-abe/>
- Agencia Espacial Brasileira (2016). *AEB*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZuffZ1>
- Agencia Espacial Mexicana y ProMéxico. (2017). *Plan de Órbita 2.0. Mapa de ruta del sector espacial mexicano*. Obtenido de <https://bit.ly/3000JZj>
- Agencia Venezolana de Noticias. (09 de octubre de 2017). En órbita Antonio José de Sucre, tercer satélite venezolano. En *El Carabobeño*. Obtenido de <https://bit.ly/34cDv19>
- Álvarez, C., Ramírez, Y. y Castaño, G. (2018). Geografía, Estado y gran estrategia: una relación indisoluble. En Álvarez, C. y Fernández, A. (Eds.). *Hacia una gran estrategia en Colombia: construcción de política pública en seguridad y defensa*. Bogotá: Esmic, pp. 81-148.
- Aránguiz, Ó. (12 de julio de 2019). La Fuerza Aérea Chilena presenta su nuevo programa Espacial Nacional. En *infodefensa.com*. Obtenido de <https://bit.ly/2HD5nSp>
- Astronáutica Chile. (s.f.). *Historia espacial chilena*. Obtenido de <https://bit.ly/2NCvNYm>
- Câmara dos Deputados. (2010). *A política Espacial Brasileira Parte I*. Obtenido de <https://bit.ly/2zCnd3s>
- Chuvieco, E. (1999). Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of Remote Sensing*, 20(12), 2331-2346.
- cnn.espanol.cnn.com (21 de abril de 2018). *¿El principio del fin de Unasur? 6 países suspenden su participación*. Obtenido de <https://cnn.it/2PdmcJz>
- Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial -CONIDA- (2009). *La Política Espacial del Perú*. Obtenido de <https://bit.ly/2ZFw3Mo>

- Dickerson, K. (2015). *China's space program is growing extremely fast*. Obtenido de <https://bit.ly/34dvTV>
- Díaz, C. (19 de marzo de 2019). El nuevo programa espacial nacional estará a cargo de la Fuerza Aérea y la Universidad de Chile. En *emol.com*. Obtenido de <https://bit.ly/30NJ6sG>
- eltiempo.com (21 de diciembre de 2013). *Bolivia obtuvo exitoso lanzamiento el satélite Tupac Katari*. Obtenido de <https://bit.ly/2HPAZob>
- eltiempo.com (05 de mayo de 2017). *Se cumplen 10 años del lanzamiento del satélite Libertad 1*. Obtenido de <https://bit.ly/2MPBGBF>
- Fontes, M. y Roma, R. (2017). Technological Autonomy in the Space Sector and National Sovereignty: An Inside Look at Brazil's Aerospace Strategies. En Fontes, M. (Ed). *Culture and Defense in Brazil*. Londres: Taylor and Francis Group, pp. 50-64.
- Fuerza Aérea de Chile (s.f.). *Antecedentes generales de las tecnologías espaciales*. Obtenido de <http://www.ssot.cl/antecedentes.php>
- Giraldo, J. (09 de diciembre de 2016). Colombia, muy lejos de la órbita espacial. *Elpais.com.co* Obtenido de <https://bit.ly/2zz9x9x>
- Gobierno argentino. (s.f.). *Plan Espacial Nacional*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/plan-espacial>.
- Harding, R. (2013). *Space Policy in Developing Countries: The Search for Security and Development on the Final Frontier*. Abingdon: Routledge.
- Karp, A. (1985). Ballistic Missiles in the Third World. *International Security*, 9(3), 166-195.
- konbini.com. (2016). *México y su historia rumbo a la exploración espacial*. Obtenido de <https://bit.ly/2vwSTVF>
- Krishnan, A. (2017). *Delayed SGDC launch, Brazil's unstable space program and lessons it can learn de India*. Obtenido de <https://bit.ly/2HASx7c>
- Laurencao, H. (2017). Recent agreements between Brazil and The United States on defence and security. En Fontes, M. (Ed.). *Culture and Defence in Brazil: An Inside Look at Brazil's Aerospace Strategies* Londres: Taylor & Francis Group pp. 15-28).
- Lucero, D. (2017). *La exploración espacial en México, una historia accidentada a tiempo de ser transformada: Camacho Lara*. Obtenido de <https://bit.ly/30Q1SQi>
- Montenegro, J. (08 de julio de 2019). La austeridad se tropieza con barreras burocráticas. En *expreso.ec*. Obtenido de <https://bit.ly/2XT5jr8>
- Observatorio Virtual de Transferencia de Tecnología (s.f.). *Instituto Espacial Ecuatoriano*. Obtenido de <https://bit.ly/2UnqnBY>
- OpenBeauchef. (s.f.). *Programa Espacial de la Universidad de Chile: primer satélite desarrollado en Chile será lanzado en India*. Obtenido de <https://bit.ly/2L9KbWm>

- Peña, J. y Yumin, T. (2017). The role of Venezuelan space technology in promoting development in Latin America. En *2017 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 285-290. Obtenido de <https://bit.ly/2ZF55Du>
- Pereira, G. (2008). *Política Espacial Brasileira e a Trajetória do INPE (1961-2007)*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Piccolo, F. y Zangani, D. (2007). *Exploitation of Lunar resources: ISRU and oxygen production*. Obtenido de <https://bit.ly/2UmyZZA>
- Rainey, K. (2015). Overview of ISS Research Benefits to Human Health. *Space Station Research & Technology*. Obtenido de <https://go.nasa.gov/2teJrEn>
- Rivera, J. (2017). La exploración espacial: una oportunidad para incrementar el poder nacional del estado mexicano. *Revista del Centro de Estudios Superiores Navales*, 38(4), 33-62.
- Román, A. y Vargas, N. (2015). Aerspace technology in Peru. En *66th International Astronautical Congress-IAC 2015*. Jerusalén: IAF. Obtenido de <https://bit.ly/2NIRI06>
- Sarli, B., Cabero, M., López, A., Cardoso, J., Jiménez, D., Román, A., et al. (2015). South American Space Era. En *66th International Astronautical Congress-IAC 2015*. Jerusalén: IAF. Obtenido de <https://bit.ly/30ImRUZ>
- Sarli, B., Cabero, M., López, A., Cardoso, J., Dnapoli, B., Román, A. et al. (2018). Review of Space Activities in South America. *Journal of Aeronautical History* (08), 208-232.
- Sellers, J. (2005) *Understanding Space: An introduction to astronautics*. 3a ed. New York: McGraw Hill.
- Silva, J., Aguilar, A., Sorice, A., Ojeda, Ó., Sarli, B., Ulloa, A., Pardo, M., et al. (2016). Study on the development of a South American Space Agency. En *67th International Astronautical Congress (IAC)*. Guadalajara: IAF, pp. 26-30
- Smith, P. (1964). The Latin American Press and the Space Race. *Journal of Inter-American Studies*, 6(4), 549-572.
- Steinberg, T., Wilson, D. y Benz, F. (1992). The Burning of Metals and Alloys in Microgravity. *Combustion and Flame*, 88(3), 309-320.
- Télam Agencia de Noticias. (4 de mayo de 2017). Cómo es el nuevo Plan Espacial Nacional 2016/2027. Obtenido de <https://bit.ly/2HAQRuq>
- Thayer, C. (2015). No, China Is Not Reclaiming Land in the South China Sea. *The Diplomat*. Obtenido de <https://bit.ly/2VZUTkj>
- Van Donkelaar, A., Randall, M., Brauer, M. y Boys, B. (2015). Use of Satellite Observations for Long-Term Exposure Assessment of Global Concentrations of Fine Particulate Matter. *Environmental Health Perspectives*, 123(2), 135-143.

- Vera, N. y Guglielminotti, C. (2014). El Desarrollo de la tecnología espacial en Argentina y sus posibles aportes a la región. *Sistema de revistas y Publicaciones Universidad ORT* (180-8). Obtenido de <https://bit.ly/2NGg9en>
- Von Braun, W. y Ordway III, F. (1966). *History of Rocketry and Space Travel*. New York: Thomas Y. Crowell Publishing.
- Zambrana, I. (21 de diciembre de 2018). Cinco años del lanzamiento del satélite Tupac Katari. En *Bolivisión*. Obtenido de <https://bit.ly/32biUsa>



CAPÍTULO V

PROGRAMAS ESPACIALES DE EUROPA, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, FEDERACIÓN RUSA Y REPÚBLICA POPULAR CHINA*

*Carlos Enrique Álvarez Calderón
CR. Robert Santiago Quiroga Cruz*

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

1. Introducción

El desarrollo espacial se ha convertido en uno de los más desafiantes campos en tecnología, por medio del cual se genera un enorme progreso en los Estados que la dominan, no solo considerando los beneficios tecnológicos directos, sino también los que provee en materia económica, social, científica y militar. Es por esta razón que las estrategias de desarrollo y visión de largo plazo de los países catalogados como potencias mundiales, consideran la capacidad de acceso y garantía de uso del espacio, como actividades vitales que deben preservar, garantizar y mejorar.

En atención al ferviente enfoque global en actividades espaciales y la inclusión de estas, o de sus productos o servicios derivados en la actual rutina la sociedad, en este capítulo se detallarán los programas espaciales de actores de talla mundial como Europa, Estados Unidos de América, la Federación Rusa y la República Popular de China; dando a conocer sus antecedentes, políticas, planes estratégicos, programas, proyectos, actividades de cooperación internacional e intereses futuros espaciales; así como las entidades comúnmente conocidas como Agencias Espaciales, encargadas de liderar cada uno de estos programas espaciales.

Es importante mencionar que se consideró a Europa como un actor único dentro del ecosistema espacial mundial, al nivel de los Estados Unidos de América, la Federación Rusa y la República Popular de China, aun cuando este no representa los intereses de un solo Estado, sino por el contrario, soporta su estrategia espacial en beneficio de 22 países del mencionado continente; sin indicar esto que cada uno de los Estados miembros no desarrolle actividades espaciales relevantes; más para el presente capítulo, tan solo se incluyeron los avances en materia espacial de la comunidad de países que en adelante se denominará Europa.

2. Europa

2.1. Agencia Espacial Europea

La Agencia Espacial Europea es la puerta al espacio de Europa; es una organización internacional con 22 países miembros, que coordina y administra todos los recursos financieros e intelectuales, y emprende programas y actividades de beneficio común, más allá de cualquier enfoque individual. Su misión es integrar el desarrollo de la capacidad espacial europea y garantizar la continuidad de las inversiones en el espacio exterior para beneficio de los ciudadanos europeos y del mundo.

Los 22 Estados miembros que conforman la Agencia Espacial Europea son: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Rumanía, Suecia, Suiza, Reino Unido y República Checa. Eslovenia es un miembro asociado y Canadá hace parte de algunos proyectos bajo acuerdos de cooperación espacial internacional. Por otra parte, Bulgaria, Chipre, Croacia, Eslovaquia, Malta, Letonia y Lituania tienen acuerdos de cooperación con la Agencia Espacial Europea.

La Agencia Espacial Europea se encarga de planear y administrar el Programa Espacial Europeo. Este programa está diseñado con el fin de generar conocimiento acerca de la Tierra, el medio ambiente espacial, el Sistema Solar y el Universo; así mismo desarrolla tecnologías y servicios basados en satélites y promueve las industrias espaciales europeas. Para cumplir estos objetivos, la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés), trabaja de manera conjunta con organizaciones y programas de cooperación espacial internacional.

Esta entidad emplea alrededor de 2.200 personas de todos sus Estados miembros, incluyendo científicos, ingenieros, especialistas en información tecnológica y personal administrativo. Tiene sus oficinas principales en París, Francia, desde donde se planea y emiten las políticas, programas y proyectos; de igual manera posee oficinas y representaciones en varios países europeos, cada una de las cuales tiene asignadas diferentes responsabilidades. En Colonia (Alemania), está ubicado el Centro de Astronautas Europeo; en Villanueva de la Cañada (España), el Centro Astronómico Espacial Europeo; en Darmstadt (Alemania), el Centro de Operaciones Espaciales Europeo; en Frascati (cerca de Roma en Italia), el Centro para la Observación de la Tierra; en Noordwijk (Holanda), el Centro de Tecnología e Investigaciones Espaciales Europeo; y en Harwell (en Oxfordshire, Reino Unido), el Centro de Estudios de Seguridad Espacial Europeo. La ESA también tiene oficinas de enlace en Bélgica, Estados Unidos y Rusia,

un Centro Espacial en la Guyana Francesa y estaciones terrestres satelitales de monitoreo en diferentes lugares del mundo.

La ESA recibe contribuciones financieras de las Agencias Espaciales de sus países miembros, las cuales se calculan de acuerdo con el Producto Nacional Bruto (PNB) de cada país y generan el presupuesto para el Programa de Ciencia Espacial. Mediante contribuciones adicionales, se conduce un número de programas espaciales opcionales, en los cuales cada país miembro decide su participación y presupuesto. El presupuesto de la ESA para 2019 fue de \$5.72 billones de euros; cabe anotar que este presupuesto retorna de manera geográfica en inversión a cada uno de los países miembros, a través de contratos industriales para programas espaciales en cantidades equivalentes a la contribución de cada Estado (Communication Department, 2019).

2.2. Programa de Observación de la Tierra

Las misiones de exploración de la Tierra están diseñadas para mejorar el entendimiento del planeta y las interacciones entre la atmósfera, la biósfera, la hidrósfera, la criósfera y el interior de la Tierra, lo cual es esencial para comprender cómo trabaja el planeta de manera sistémica. De esta manera se responden preguntas científicas que ayudan a predecir los efectos del cambio climático, así como interrogantes asociados a los desafíos que la humanidad enfrentará en las próximas décadas. Se espera que estas misiones sobrepasen los objetivos para los cuales fueron diseñadas, generando una multitud de datos que mejorarán la vida de la humanidad.

En este sentido, las misiones Sentinel están desarrolladas específicamente para el Programa Copérnico de la Unión Europea, considerado el programa de monitoreo medioambiental más grande del mundo. Este programa provee importante información para un amplio rango de aplicaciones prácticas, generando un cambio en la visión de la administración del medio ambiente, del entendimiento y manejo de los efectos del cambio climático, así como del cuidado de la vida en el diario vivir. Cada misión Sentinel está compuesta por tecnología que adquiere un tipo de imágenes específicas para satisfacer las necesidades del Programa Copérnico; estos datos son de uso gratuito y abierto para todos los usuarios a nivel mundial, lo cual no sólo facilita la tarea esencial de monitoreo del medio ambiente, sino también ayuda a fomentar el desarrollo de oportunidades de negocio y nuevos empleos.

Gracias al Programa Copérnico, se pueden generar beneficios sociales y económicos. Por ejemplo, un pronóstico meteorológico preciso permite tomar decisiones acertadas en agricultura, mantenimiento de infraestructuras mayores, tránsito aéreo y

marítimo, o simplemente para planear las actividades diarias. Sumado a esto y derivado de la cooperación entre la ESA y Eumetsat, Europa cuenta con una flota de satélites meteorológicos, tanto en órbita geoestacionaria como en órbitas polares, que proveen información esencial para generar pronósticos meteorológicos; esta misma información es usada para entender el cambio climático (European Space Agency, 2019).

Adicionalmente, la ESA desarrolla proyectos como la “Iniciativa de Cambio Climático” y el “Capítulo Internacional de Espacio y Desastres Mayores”. Con relación a la Iniciativa de Cambio Climático, hace un completo uso de los activos espaciales para generar una fuente de datos masivos de largo plazo que analiza indicadores clave sobre este tema; estas variables climáticas esenciales proveen una poderosa herramienta para monitorear y predecir los efectos del mismo. Por su parte, el Capítulo Internacional de Espacio y Desastres Mayores provee un rápido acceso a los datos satelitales para ayudar a las autoridades en la administración de desastres cuando estos ocurren.

2.3. Programa de Exploración Espacial Humana y Robótica

En cuanto a la exploración espacial y robótica, Europa tiene como objetivo aumentar la participación en el desarrollo de la infraestructura de la Estación Espacial Internacional, en la cual se realizan experimentos en un medio ambiente sin gravedad, diferente a la Tierra. De igual manera desarrolla investigaciones y tecnología espacial en proyectos de coherencia y vuelo parabólico, buscando beneficiar a la humanidad y preparar a Europa para los nuevos retos de la exploración espacial humana; siguiendo este objetivo, conducen proyectos estratégicos que abarcan una variedad de disciplinas, enfocándose principalmente en áreas de ingeniería y ciencia, fomentando la educación de las nuevas generaciones que asegurarán la continuidad del trabajo y la exploración espacial. Un proyecto espacial mayor es la participación en la Estación Espacial Internacional, que requiere un constante entrenamiento para cada una de sus misiones, incorporando un grupo de soporte en tierra de más de 4.000 personas alrededor de Europa, enfocadas directamente en alcanzar y mantener las operaciones e investigación en esta infraestructura espacial.

Para la ESA, la exploración espacial tripulada y robótica es un proyecto internacional que permitirá visitar y descubrir nuevos lugares y cosas. La exploración espacial se concibe como un viaje lejano que brindará de regreso nuevas experiencias y conocimientos para ayudar a las personas en la Tierra; en este sentido, plantean una estrategia que incluye tres destinos específicos donde los humanos trabajarán con

robots para alcanzar nuevos conocimientos: la órbita baja de la Tierra en la Estación Espacial Internacional, la Luna y Marte. El programa de exploración espacial incluye un módulo de servicio europeo para la nave espacial *Orión* de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés), un aterrizaje en la Luna con la Agencia Espacial de la Federación de Rusia (comunmente conocido como Roscosmos), y un proyecto de perforación en Marte con el rover *ExoMars* de la ESA. En todos los programas de exploración espacial, los robots trabajaran articuladamente con los astronautas y las estaciones de control, teniendo como función preparar los sitios de aterrizaje y acceder a los lugares peligrosos o donde no es posible llegar para los humanos (European Space Agency, 2019).

2.4. Programa de Transporte e Industria Espacial

Hace más de 50 años que los gobiernos europeos decidieron garantizar el acceso autónomo al espacio como una necesidad europea y combinaron sus esfuerzos para alcanzar este objetivo. Gracias a esta visión, Europa desarrolló una variedad de lanzadores espaciales, así como su propio Centro Espacial de Lanzamiento en la Guyana Francesa, garantizando el acceso al espacio, que es la primera condición en la utilización de este y en los beneficios que esto conlleva.

La Unión Europea y la ESA reconocieron la importancia del espacio ultraterrestre, y firmaron una declaración el 26 de octubre de 2016, conocida como la "Visión Conjunta y Objetivos para el Futuro de Europa en el Espacio". Esta ratificó la necesidad para ambas instituciones de trabajar integradamente y en cooperación para alcanzar la visión común de mantener a Europa como un actor de clase mundial en temática espacial y ser visto como un aliado internacional; por lo anterior, un objetivo permanente es garantizar la autonomía europea en cuanto al acceso y uso del espacio exterior de manera segura, a través de la consolidación y protección de su infraestructura espacial. Esto le permite a Europa contar con una variedad de lanzadores que cumplen con las necesidades institucionales y comerciales de acceso al espacio, al tiempo que garantiza la excelencia y confiabilidad del Centro Espacial Europeo.

En este sentido, la ESA tiene la capacidad de asegurar la disponibilidad del Centro Espacial Europeo para el lanzamiento de los cohetes *Ariane*, *Vega* y *Soyuz*; mantener la infraestructura de tierra necesaria para los lanzamientos; fomentar el mercado institucional europeo de lanzamientos al espacio; asegurar que Europa pueda responder a las demandas del mercado a través del desarrollo del cohete *Ariane 6* y *Vega C*, así como sus infraestructuras de tierra; dar soporte a la industria europea con tecnología

y capacidades de investigación a través del mejoramiento de la competitividad actividad industrial y la promoción de la innovación; crear empleo; y proyectar el futuro europeo, dando respuesta institucional y comercial a los mercados mediante tecnologías innovativas, investigaciones de futuros lanzadores y demostraciones de capacidades técnicas que preparen la ruta de acceso y retorno hacia y desde el espacio exterior (European Space Agency, 2017).

Debido a los desafíos espaciales y el constante avance de la tecnología, la ESA prepara un nuevo sistema de lanzadores para responder a las necesidades institucionales futuras y a los nuevos retos en el espacio exterior. Por lo anterior, desde el año 2003 existe un programa por medio del cual se estudia e investiga las actividades que permitan proyectar nuevas capacidades de acceso al espacio ultraterrestre, mejorando el actual rendimiento, confiabilidad y costos operacionales. Los retos que busca resolver este programa incluyen el incorporar un sistema de alto rendimiento y bajo peso, tecnologías disruptivas, lanzadores eléctricos, estrategias de inserción orbital, diseño y estructura robusta, fácil manufactura, cooperación e integración, reutilización, sistemas y estructuras de bajo costo, y sistemas de lanzamiento amigables con el medio ambiente (European Space Agency, 2017). El programa se encuentra estructurado en varias fases, que incluyen actividades como el estudio de vehículos lanzadores reusables, estudio de vehículos lanzadores expandibles, análisis de sistemas de lanzamiento avanzados, selección y maduración de tecnologías, y soporte de planeamiento estratégico de lanzamiento, entre otras.

De esta manera, la ESA soporta y prioriza la industria espacial europea como parte central de su estrategia, calculando que cuando un cohete *Ariane* es puesto en el espacio exterior, más de 12.000 europeos y 100 compañías europeas han estado involucrados en todo el proceso. En 2003, el Consejo de la ESA redefinió los roles y responsabilidades del sector público y privado con el fin de crear un balance entre estos dos, estableciendo que el diseño, desarrollo y manufactura de los lanzadores sería realizado por industrias a lo largo de Europa, teniendo un único contratista principal como responsable de todo el proceso para cada lanzador. La compañía de transporte espacial europeo *Arianespace*, vinculada a la ESA, estaría a cargo de la ejecución de la fase operacional de los lanzamientos, incluyendo la adquisición del lanzador al contratista principal, el mercadeo y los lanzamientos al espacio.

En 2014, el Consejo de la ESA decidió al nivel ministerial, que para el desarrollo del cohete *Ariane 6* se introdujeran cambios en la forma de administración de este programa, de manera que permitiera compartir responsabilidad, costos y riesgos, desde

el diseño hasta su explotación comercial. Esto dió a la industria una mayor responsabilidad en temas de articulación financiera, costos de fabricación, diseño del nuevo lanzador, administración de la organización industrial, identificación de necesidades de los clientes y explotación comercial del producto. La nueva negociación permite la entrega del *Ariane 6* en el puerto de lanzamiento con un 50% de reducción en costos, en comparación con el *Ariane 5* (European Space Agency, 2019).

2.5. Programa de Navegación Satelital

La aproximación europea al Sistema Satelital de Navegación Global comenzó con el Servicio Europeo de Navegación Geoestacionario (EGNOS, por sus siglas en inglés), el cual complementó y mejoró el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), entrando en servicio en 2009 y certificando sus operaciones en 2011. La experiencia técnica y operacional alcanzada con EGNOS allanó la llegada del Sistema Satelital Europeo de Navegación Global "Galileo", que es la iniciativa conjunta entre la ESA y la Comisión Europea para proveer el primer sistema de posicionamiento civil con cobertura global. Los primeros satélites de prueba del sistema *Galileo* fueron el *GIOVE-A* y el *GIOVE-B*, puestos en órbita de validación en el 2005 y 2008 respectivamente; el primer par de satélites operacionales del sistema Galileo fueron lanzados en 2011 (European Space Agency, 2016).

Este Sistema Satelital Europeo de Navegación Global proveerá posicionamiento de alta calidad, navegación y tiempo preciso a los usuarios en todo el mundo. Será controlado por civiles y garantizará una permanente continuidad en cuanto a cobertura; estará conformado por una constelación de 24 satélites operacionales, más 6 satélites de reemplazo circulando la Tierra en tres órbitas medias, a una altura de 23.222 kilómetros. Galileo será interoperable con el GPS de los Estados Unidos¹ y el GLONASS², ofreciendo un desempeño combinado mejorado (European Space Agency, 2017).

1. En un principio, Estados Unidos se había opuesto al proyecto Galileo en favor del GPS, porque entendía que supondría serios retos y problemas a la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN, por sus siglas en inglés); Estados Unidos estaba preocupado por el solapamiento de frecuencias de Galileo con las ya planeadas en el GPS para uso exclusivamente militar, así como por la aparente presencia en Galileo de características del GPS militar, estando sin embargo bajo administración civil. No obstante, estadounidenses y europeos llegarían finalmente a un acuerdo de complementariedad de ambos sistemas.

2. GLONASS es un Sistema de Posicionamiento Global de Navegación por Satélite desarrollado por la Unión Soviética, siendo hoy administrado por la Federación Rusa, y que constituye el homólogo del GPS estadounidense y el Galileo europeo.

2.6. Programa de Ciencia Espacial

La “Visión Cósmica 2015-2025” es el actual plan que guía las misiones de ciencia espacial de la ESA. Fue creado en 2005 y es la continuación del plan conocido como “Horizonte 2000”, preparado en 1984, y “Horizonte 2000 Plus”, concebido entre 1994 y 1995. Para articular y explicar estos planes, es importante mencionar el proyecto *Rosetta*, que inició en el Plan Horizonte 2000 y fue lanzado al espacio en el 2004; esta nave espacial necesitó una década para alcanzar su destino, antes de llegar a ser la primera misión que se acercó, sobrevoló y aterrizó sobre un cometa, dando cumplimiento a uno de los más ambiciosos proyectos de exploración espacial concebidos hasta la fecha. Y es hasta ahora, a través de las operaciones finalizadas en septiembre de 2016, que los científicos están profundizando en los datos obtenidos de esta misión, como no había sido posible antes. El Plan Horizonte 2000 también incluyó los proyectos “Máquina del Tiempo” y el “Observatorio Astronómico Herschel”, que cambiaron la forma como que la humanidad ve el Universo, al revelar antigua radiación proveniente del *Big Bang* y realizar un seguimiento al nacimiento de estrellas, así como a la evolución de las galaxias a través del tiempo.

El Plan Horizonte 2000 Plus también incluyó los proyectos *Gaia*, *Lisa Pathfinder* y *BepiColombo*. Este último proyecto fue lanzado en 2018, con destino al planeta Mercurio, y actualmente está en camino a descubrir los misterios del mencionado planeta. Por medio del proyecto *Gaia*, se han realizado mediciones precisas de la posición, movimiento y características de las estrellas, que han permitido crear un mapa tridimensional de la Vía Láctea y explorar la evolución y el futuro de la galaxia; igualmente ha generado dos inmensas fuentes de datos que están redefiniendo las bases de la astronomía. El proyecto *Lisa Pathfinder* demostró las necesidades tecnológicas requeridas para la nueva generación de programas *Lisa*, los cuales tienen como objetivo detectar las ondas gravitacionales en el espacio exterior .

Con relación a la Visión Cósmica 2015-2025, este plan propone cuatro preguntas principales: ¿Cuáles son las condiciones para la formación de un planeta y la generación de vida?; ¿Cómo trabaja el Sistema Solar?; ¿Cuáles son las leyes de la física fundamental del Universo?; y ¿Cómo fue el origen del Universo y qué lo generó? Para responder estas preguntas, una nueva flota de naves espaciales está siendo concebida en la ESA. Este programa incluye tres misiones a exoplanetas que mantendrán a Europa en la vanguardia de este campo de exploración espacial, convirtiéndose cada una de las misiones a estos planetas en un aspecto único de ciencia exoplanetaria. De igual manera, se prepara el lanzamiento del Orbitador Solar para el 2020, con

el objetivo de proveer pistas sin precedentes de las regiones polares del Sol, y para entender mejor como la meteorología espacial se afecta por la actividad solar. En el 2022, el Explorador de Hielo de las lunas de Júpiter será lanzado hacia el Sistema Joviano, y evaluará el potencial de habitabilidad en los grandes océanos de las lunas Europa, Ganímedes y Calisto.

Enfocado en el espacio profundo, el proyecto *Euclides* buscará descifrar los misterios de como la red cósmica, la energía oscura exótica y la materia negra invisible, influyen la estructura y el curso del Cosmos. Por otra parte, la nueva generación de Rayos X del Observatorio Atenea investigará algunas de las fuentes de poder más caliente y poderosas del Universo; junto con el programa *Lisa*, proveerá una fuente de observaciones coordinadas, para permitir el estudio de los agujeros negros y el fenómeno energético a través del Universo (European Space Agency, 2019).

Teniendo en cuenta que las nuevas tecnologías son el punto de partida para todo lo que hace la ESA, esta agencia cuenta con el "Directorio de Tecnología, Ingeniería y Calidad", responsable por el desarrollo de tecnologías para el largo plazo, incluyendo las tecnologías genéricas que brindan beneficio a todos los dominios técnicos; así mismo, apoyan la investigación y el desarrollo de infraestructura como laboratorios, áreas de prueba y secciones especializadas que abarcan cada aspecto del medio ambiente espacial. El objetivo primario del Directorio de Tecnología, Ingeniería y Calidad es asegurar que existan tecnologías disponibles para el uso de las misiones de la ESA, bajo el concepto de tecnología correcta en el momento correcto. Este directorio se encuentra organizado por disciplinas técnicas en cuatro departamentos, como son: ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, ingeniería de sistemas y de garantía de producto y seguridad. Al mismo tiempo los servicios que ofrece para la ESA y la industria europea pueden ser categorizados bajo tres funciones principales: desarrollo de tecnología, soporte de ingeniería y garantía de calidad (European Space Agency, 2017).

Las operaciones espaciales que desarrolla la ESA incluyen la operación de naves espaciales en la órbita cercana a la Tierra, en diferentes tipos de vuelos espaciales y en viaje hacia lo profundidad del Sistema Solar. Estas operaciones incluyen el control de naves espaciales de manera individual o grupal, que obligan una detallada coordinación entre entidades y estaciones de control en tierra. Las actividades principales relacionadas con las operaciones que desarrolla la ESA involucran la operación y control de las naves espaciales; el desarrollo, operación y mantenimiento de la red de estaciones satelitales terrestres; el control y maniobra con relación a los desechos espaciales; la administración del "Programa de Alerta Situacional Espacial"; el desarrollo

de software en las estaciones de control terrestre; el planeamiento y construcción de los sistemas de control de misión; las actividades de operación coordinada con agencias aliadas; la administración de frecuencias usadas en el espacio ultraterrestre; y el establecimiento de estándares de operaciones espaciales en los escenarios internacionales determinados para tal fin (European Space Agency, 2019).

2.7. Programa de Telecomunicaciones Espaciales

La ESA constituyó el "Directorio de Telecomunicaciones y Aplicaciones Integradas", que mantiene a Europa y la industria canadiense liderando la feroz competencia en el mercado mundial de telecomunicaciones, gracias a la innovación. A través del apoyo de la ESA, la industria de telecomunicaciones puede conducir investigaciones y desarrollos que de otra manera no serían viables económicamente, generando nuevas aplicaciones basadas en tecnología espacial y estimulando la creación de nuevos servicios y oportunidades de negocio, que permiten la creación de ofertas laborales que antes no existían.

En este sentido se creó el Programa de Investigación Avanzada en Sistemas de Telecomunicaciones (ARTES, en sus siglas en inglés), que tiene como objetivo dar soporte a los proyectos con diferentes niveles de madurez operacional comercial para generar productos y servicios comerciales exitosos. Este programa tiene tres áreas de desarrollo: las aplicaciones de negocio enfocadas en tecnologías de telecomunicación satelital para proveer soluciones a problemas de la Tierra; el soporte y desarrollo de nuevos productos y tecnologías basadas en telecomunicación satelital; y los desarrollos conjuntos públicos-privados con operadores de satélites y manufacturadores, liderados por la ESA, que permiten cofinanciar y compartir el riesgo asociado a la inversión en nuevas tecnologías. De esta manera se acelera la introducción al mercado de nuevos productos y servicios, manteniendo Europa a la vanguardia en tecnología satelital. Además, los servicios de telecomunicaciones de la ESA y sus aplicaciones integradas, proveen soluciones a entidades públicas tales como la Unión Europea, Eurocontrol y la Agencia de Defensa Europea; igualmente, colabora en diferentes niveles con las agencias espaciales nacionales de los países miembros de la ESA (European Space Agency, 2018).

2.8. Planes para el futuro

La ESA determinó objetivos específicos de cara al futuro. En este sentido, muchos peligros originados en el espacio ultraterrestre han sido identificados, los cuales, aun-

que improbables, continúan ofreciendo un riesgo para la humanidad. Sólo hasta en las pasadas décadas se entendió el potencial riesgo de la posición de la Tierra en el Sistema Solar, y gracias al avance de la tecnología, actualmente algo se puede hacer al respecto. En este sentido, en cuanto a seguridad física e industrial espacial, las actividades de la ESA están enfocadas en mitigar y prevenir el impacto de las amenazas provenientes del espacio exterior, protegiendo el planeta, sus habitantes y la infraestructura vital sobre la cual se tiene dependencia. Así mismo, y teniendo en cuenta que la Tierra continúa enfrentando retos asociados a un cambio global, ya sea por el clima, la población o el desarrollo tecnológico; la ESA desarrolla una estrategia de cooperación y soporte con sus 22 países miembros, para coordinar los datos e información necesaria que permita entender y responder a las amenazas originadas tanto desde el espacio, como en la Tierra.

Por otra parte, la ESA proyecta para el 2030 poseer la capacidad de proteger su infraestructura vital en el espacio y en la Tierra ante eventos extremos de clima espacial generados por el Sol; para lo anterior, planea desarrollar un "Sistema de Monitoreo de Meteorología Espacial", que incluye la misión *Lagrange*, integrada por: una nave espacial dedicada al monitoreo del Sol; pequeños satélites en órbita alrededor de la Tierra con cargas útiles de vigilancia de la meteorología espacial; misiones meteorológicas espaciales que incorporan instrumentos de monitoreo alojados en satélites europeos de telecomunicaciones, observación de la Tierra y otras misiones; y redes robustas de sensores de meteorología espacial en tierra. Este sistema incorporará el procesamiento de los datos por parte de la "Red del Servicio Meteorológico Espacial Europeo", que proveerá un análisis de la severidad de los eventos meteorológicos espaciales. Así mismo, el "Centro de Coordinación Meteorológica Espacial Europeo" generará alertas meteorológicas hechas a la medida para usuarios europeos, desarrollando modelos meteorológicos espaciales con capacidad de proveer información en tiempo real y pronósticos, estableciendo protocolos de emergencia con las autoridades civiles para mejorar la resiliencia ante eventos de meteorología espacial, e incrementando la alerta sobre amenazas meteorológicas espaciales para Europa.

Con relación a los riesgos de impacto de asteroides, consideran que para el 2030 Europa sea un actor fundamental del Sistema de Defensa Planetaria, capaz de proveer alerta temprana para asteroides peligrosos de más de 40 metros de diámetro (con tres semanas de anticipación), siendo posible desviar el rumbo de asteroides de hasta 1 kilómetro de diámetro, si son conocidos con más de dos años de anticipación. En este sentido, la ESA planea conducir la misión *Hera*, que integra junto a la nave espacial *DART* de la NASA, la misión internacional *AIDA*, por medio de la cual pretenden encon-

trar un sistema de asteroides binario y chocar la nave espacial *DART* contra el asteroide más pequeños de los dos, modificando su órbita alrededor del primer asteroide, para que posteriormente *Hera* conduzca un análisis detallado post impacto, con el fin de entender el resultado y replicarlo como una técnica de defensa planetaria.

De igual manera, la ESA planea una red de telescopios *Flyeye*, con los cuales proyecta vigilar el cielo durante las noches, en búsqueda de rocas viajeras; identificando, informando y monitoreando aquellas que podrían suponer un riesgo de impacto. También lanzará un nuevo satélite al espacio para detectar asteroides que provengan de la dirección del Sol y que no pueden ser vistos desde la Tierra, adelantando los enlaces requeridos desde el Centro de Coordinación de Objetos Cercanos a la Tierra de la ESA, que igualmente será el punto de acceso central a la fuente de datos de asteroides.

Con respecto a los desechos espaciales, visualizan que Europa en un esfuerzo global con sus aliados, para el 2030 cuente con una flota de naves espaciales en órbita alrededor de la Tierra resistente a los riesgos de los desechos espaciales. Así mismo proyecta contar con la capacidad de monitorear y administrar de manera segura el tráfico en el espacio exterior, removiendo y evitando los desechos espaciales, evaluando los riesgos y contando con la capacidad de aplicar procedimientos al final del ciclo de vida de las naves espaciales, de manera que el uso del espacio sea sostenible y económicamente viable.

Para lograr esta operación espacial segura, desarrollará un sistema automático que evite colisiones, tanto de satélites individuales como de grandes constelaciones, mediante el monitoreo y administración segura del tráfico espacial, así como la aplicación y verificación de las medidas necesarias para mitigar el riesgo de desechos, de acuerdo con los compromisos internacionales, estándares y buenas prácticas. De igual manera continuará asesorando, moldeando y mitigando el riesgo tanto de los desechos espaciales como de las entradas a la tierra de estos. Lo anterior a través del desarrollo de sensores y tecnologías de monitoreo por radar, láser y vigilancia espacial óptica, basados en infraestructura en tierra y en órbita.

En referencia al uso limpio del espacio, la ESA tiene como iniciativa ser pionera en proveer soluciones amigables con el medio ambiente mientras desarrolla las actividades espaciales. En tierra, significa adoptar la utilización de materiales industriales, procesos y tecnologías ecológicas; en el espacio exterior, significa preservar el medio ambiente orbital como una zona segura, libre de desechos. En cuanto a la iniciativa de un satélite limpio, esta se enfoca en minimizar la producción de desechos espaciales, incluyendo la reducción de la cantidad de objetos puestos en órbita en las regiones

de alta densidad de desechos, como son la órbita baja de la Tierra y la órbita geoestacionaria; desarrollando conceptos tecnológicos que consideran que al final del ciclo de vida de un satélite, se vacíen los tanques y descarguen las baterías para prevenir la posibilidad de explosiones derivadas de estos. De igual manera, la ESA está comprometida en introducir iniciativas de diseño de satélites que logren impactos medioambientales positivos y fomenten el uso de materiales y tecnologías ecológicas, a través del establecimiento de un marco de diseño común para el sector espacial europeo.

Como otra iniciativa para el uso limpio del espacio, se proyecta el desarrollo de un nuevo concepto de remoción de desechos en órbita, haciendo uso de un vehículo de servicio que conducirá una variedad de actividades en el espacio, incluyendo la habilidad para retirar de manera segura los satélites de su órbita, al final de sus ciclos de vida. Este vehículo espacial también tendrá la capacidad de recargar combustible a los satélites, maniobrándolos y aumentando el ciclo de vida de las misiones en el espacio. Por medio de este, pretenden abrir la oportunidad para nuevos modelos de negocio, orientados a mitigar los desechos espaciales y asegurar la sostenibilidad de largo plazo del vuelo espacial.

Por otra parte, la ESA trabaja dedicadamente para garantizar y proteger la seguridad de las operaciones espaciales, que para el 2019 registró un total global de más de 1.500 satélites activos alrededor del planeta, que proveen servicios vitales como navegación, telecomunicaciones y acceso a internet, materializando la importancia de certificar la operación espacial segura en beneficio de la humanidad. Esto incluye no sólo la protección de la infraestructura espacial de las amenazas espaciales, sino también el entendimiento de las amenazas de ciberseguridad desde la tierra (European Space Agency, 2019).

Finalmente, la ESA continuará proveyendo servicios de seguridad en la Tierra con la información obtenida desde el espacio ultraterrestre, dando respuesta a las amenazas y cambios globales masivos que alteran el planeta, respondiendo a desafíos como migraciones, cambios demográficos, conflictos, desastres naturales, hambrunas y cambio climático, entre otros. Estos retos pueden ser administrados, en parte, desde el espacio exterior, por medio de información confiable y rápida, a través del análisis de datos, aplicaciones y servicios de comunicaciones seguras, que permiten reaccionar ante los cambios que generan daños en la Tierra, asegurando la coordinación internacional y la disposición de los servicios de emergencia de gobiernos regionales, nacionales y de otro tipo de organizaciones.

3. Estados Unidos de América

3.1. Antecedentes

La Administración Aeronáutica y Espacial Nacional (NASA por sus siglas en inglés), es responsable por los avances científicos y tecnológicos en el vuelo espacial tripulado, la aeronáutica y la ciencia y aplicaciones espaciales que tienen impacto en los Estados Unidos y en el mundo. La NASA fue creada de la integración del Comité Asesor Aeronáutico Nacional (NACA por sus siglas en inglés), y otras organizaciones gubernamentales, con el fin de adelantar investigaciones y desarrollos aeroespaciales como respuesta a los logros espaciales de la Unión Soviética.

La NASA inició operaciones el 01 de octubre de 1958, acelerando el trabajo ya iniciado en cuanto a vuelo espacial robótico y humano. El primer gran programa de la NASA fue el proyecto *Mercury*, en un esfuerzo por aprender si los humanos podían sobrevivir en el espacio exterior. De éste se derivó el proyecto *Gémini*, que utilizó la nave espacial construida para el vuelo con astronautas, adicionando las capacidades necesarias para alcanzar el objetivo de lograr un vuelo tripulado a la Luna para finales de los años 60. El proyecto *Gémini* alcanzó su objetivo en julio de 1969 con la misión *Apolo 11* y continuó con cinco misiones más que aterrizaron en la Luna hasta 1972. Luego de esto, se desarrolló el proyecto *Skylab*, que se constituyó en la primera estación espacial estadounidense, y posteriormente se realizó la prueba de integración de las misiones *Apolo* y *Soyuz* a mediados de los años 70, retomando los esfuerzos del vuelo tripulado en 1981 con el programa espacial *Shuttle*, el cual duró por 30 años. Este programa además de marcar una diferencia tecnológica fue esencial para la mayoría de los avances en el espacio, así como para la construcción de la Estación Espacial Internacional.

Para los años 60, la NASA ahondó en investigaciones acerca de conceptos aeronáuticos que cambiaron la forma en cómo se construían y volaban los aviones. La NASA también incursionó en el conocimiento del Sistema Solar, con intensas investigaciones de todos los planetas, utilizando para esto naves espaciales orbitales como el telescopio espacial *Hubble*, que amplió el entendimiento del Universo, así como del propio planeta Tierra. Paralelamente, la NASA inició el desarrollo de vehículos de lanzamiento espacial e introdujo tecnologías satelitales de observación de la Tierra, de comunicaciones, de posicionamiento global y meteorológicas, que cambiaron el estilo de vida de sus ciudadanos, gracias a la naciente industria espacial. Así mismo, la NASA impulsó la exploración espacial, fomentó una robusta actividad comercial en

el espacio exterior, y lideró la exploración robótica del espacio profundo (Jim & Brian, 2018).

3.2. Política Espacial

La actual Política Espacial Nacional de los Estados Unidos fue emitida por el gobierno del presidente Barack Obama, el 28 de junio de 2010, y fue modificada en uno de sus apartes mediante la Directiva Presidencial No. 01 del 14 de diciembre de 2017 del presidente Donald Trump. Esta política espacial manifiesta el espíritu de cooperación por medio del cual los Estados Unidos convoca a otros Estados a reconocer cinco principios relacionados con el espacio exterior (Presidency of the United States of America, 2010).

El primer principio considera que es un interés común de todas los Estados actuar con responsabilidad en el espacio para prevenir pérdidas o accidentes. Los Estados Unidos considera la sostenibilidad, estabilidad, y libre acceso y uso del espacio, como vital para su interés nacional. El segundo principio contempla que un robusto y competitivo sector espacial comercial es fundamental para continuar con el progreso del espacio ultraterrestre. Por lo cual, está comprometido en apoyar y facilitar el crecimiento del sector espacial comercial doméstico que soporte sus necesidades, la competitividad global y el liderazgo para generar nuevos mercados y emprendimientos basados en innovación espacial. El tercer principio reafirma el concepto de que todas los Estados tienen el derecho a explorar y usar el espacio con fines pacíficos y en beneficio de la humanidad, de acuerdo con la ley internacional; siendo consistente con este principio, considera como pacíficas, todas las actividades de seguridad y protección del territorio nacional que se realicen en el espacio exterior. El cuarto principio perpetúa lo establecido en las leyes internacionales acerca de que no habrá reclamo de soberanía sobre el espacio exterior o alguno de los cuerpos celestes que este contiene; los Estados Unidos considera que todas los Estados tienen derecho de movilidad en el espacio y de conducción de operaciones dentro del mismo sin ninguna interferencia. Bajo el quinto principio, expresa su disposición para desplegar una variedad de medidas que ayuden a asegurar el uso del espacio exterior y garanticen el derecho de autodefensa; disuadiendo, interfiriendo o atacando para defender sus sistemas espaciales y contribuir a la defensa de los sistemas espaciales aliados.

Siguiendo los lineamientos consagrados en los cinco principios, los Estados Unidos estableció seis objetivos puntuales para alcanzar a través de su programa espacial:

Como primer objetivo determinó fortalecer la competitividad de la industria doméstica para participar en el mercado espacial a través del desarrollo avanzado y

manufactura de satélites, servicios basados en satélites, lanzamiento satelital, aplicaciones terrestres e impulso y fomento de emprendimientos comerciales. El segundo objetivo establece la necesidad de expandir la cooperación internacional en cuanto a actividades espaciales de beneficio mutuo, con el fin de maximizar los beneficios del acceso al espacio, expandir las actividades de uso pacífico y mejorar la adquisición e intercambio de información espacial. Por medio del tercer objetivo busca fortalecer la confiabilidad del uso del espacio, a través de medidas domésticas e internacionales que promuevan la seguridad y las operaciones responsables en el mismo.

El cuarto objetivo considera incrementar la seguridad y resiliencia de las misiones espaciales con funciones esenciales, las cuales son provistas por naves espaciales comerciales, civiles, científicas y de seguridad nacional; dando apoyo a la infraestructura espacial contra interrupción, degradación y destrucción, ya sea por causas medioambientales, mecánicas, electrónicas u hostiles. Como quinto objetivo proyecta el desarrollo de innovaciones en tecnología humana y robótica, a través del fomento de nuevas industrias, el fortaleciendo de alianzas internacionales, la exaltación del sentimiento espacial nacional y mundial, el entendimiento acerca de la Tierra, el estímulo de los descubrimientos científicos, y la exploración del Sistema Solar y del Universo lejano. El sexto objetivo está enfocado en mejorar la infraestructura espacial en la Tierra y las capacidades de observación solar, necesarias para el desarrollo de la ciencia, la meteorología terrestre, la meteorología espacial cercana a la Tierra, el monitoreo del clima, el cambio global, la administración de los recursos naturales y el apoyo a las actividades de administración y respuesta a desastres.

El 11 de diciembre de 2017, el presidente Donald Trump firmó la Directiva No. 01 de Política Espacial denominada "Revigorizando el Programa de Exploración Espacial Humana" (Presidency of the United States, 2017), por medio de la cual realizó una enmienda a la Política Espacial Nacional del 28 de junio de 2010, cambiando la frase "establecer hitos de exploración de largo alcance" por:

Liderar un programa innovador y sostenible de exploración con socios comerciales e internacionales para permitir la expansión humana a través del Sistema Solar y traer de regreso a la tierra nuevos conocimientos y oportunidades. Comenzando con misiones más allá de la órbita baja de la tierra, los Estados Unidos liderará el regreso de los humanos a la luna para su exploración y uso por largo tiempo, seguido por misiones tripuladas a Marte y otros destinos.

Posteriormente mediante la Directiva 4 de Política Espacial del 19 de febrero de 2019, denominada "Establecimiento de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos", el

presidente Donald Trump ordenó radicar una propuesta legislativa para crear la Fuerza Espacial de los Estados Unidos, como un nuevo servicio armado dentro del Departamento de la Fuerza Aérea³, que tendrá como misión asegurar el acceso y libertad para operar en el espacio exterior y proveer capacidades vitales para las fuerzas conjuntas y de coalición, en tiempos de paz o en caso de un conflicto (Presidency of the United States, 2019). Este documento además estipula que la Fuerza Espacial de los Estados Unidos debe proteger los intereses nacionales en el espacio y el uso pacífico del mismo, asegurar el ininterrumpido uso del espacio para propósitos de seguridad nacional, disuadir las amenazas y defender la nación, garantizar la disponibilidad de las capacidades espaciales, proyectar el poder espacial en soporte a los intereses nacionales, y desarrollar, mantener y fortalecer una comunidad de profesionales enfocados en los requerimientos de seguridad nacional en el dominio espacial.

3.3. Administración Aeronáutica y Espacial Nacional (NASA)

Estados Unidos cuenta con una agencia espacial civil conocida como la Administración Aeronáutica y Espacial Nacional (NASA por sus siglas en inglés), y por otra parte con el Comando Espacial de la Fuerza Aérea (SPACECOM por sus siglas en inglés), liderando cada una de estas entidades su correspondiente enfoque de desarrollo espacial. La NASA tiene aproximadamente 17.400 trabajadores distribuidos a lo largo de sus centros espaciales, instalaciones y oficinas principales.

Los principales centros e instalaciones de la NASA y su actividad principal son: el Centro de Investigación AMES, que se encarga de las investigaciones en fundamentos aeronáuticos, tecnologías en ciencias biológicas y espaciales; el Centro de Investigación de Vuelo Armstrong, encargado de la investigación de vuelo; el Centro de Investigación Glenn, a cargo del desarrollo de tecnologías de comunicaciones y aero-propulsión; el Centro de Vuelo Espacial Goddard, con responsabilidad en temas relacionados con la Tierra, el Sistema Solar, la observación del Universo, la navegación y la comunicación espacial; las Oficinas Principales, encargadas del liderazgo de la agencia; el Laboratorio de Propulsión Jet, con responsabilidad en el desarrollo de robótica para la exploración del Sistema Solar; el Centro Espacial Johnson, encargado de la exploración espacial humana; el Centro Espacial Kennedy, a cargo del lanzamiento de las misiones espaciales; el Centro de Investigación Langley, encargado de

3. Pero eventualmente Estados Unidos buscaría quiere establecer una Fuerza Espacial como un servicio militar independiente, y no como un departamento dentro de sus agencias y organizaciones militares ya existentes. Esto implicaría contar con un presupuesto exclusivo para el desarrollo de armas, y la contratación de especialistas y soldados que planeen estrategias ofensivas y defensivas.

la investigación del espacio y la aviación; el Centro de Vuelo Espacial Marshall, con responsabilidad en el transporte espacial y las tecnologías de propulsión.

También cuenta con el Centro Espacial Stennis, encargado de las pruebas de cohetes de propulsión y las tecnologías de sensoramiento remoto; el Instituto de Estudios Espaciales Goddard, responsable del estudio del cambio climático global; la Instalación de Validación y Verificación Independiente Katherine Johnson, a cargo del análisis de seguridad y costo-beneficio para el software crítico de misión; la Instalación de Ensamblaje Michoud, administradora de la manufactura y ensamblaje del hardware crítico para los vehículos espaciales; el Centro de Seguridad e Ingeniería, con responsabilidad de las pruebas, análisis y evaluación de los proyectos de alto riesgo; el Centro de Seguridad, encargado del personal, procesos y recursos necesarios para el exitoso y seguro logro de los proyectos y objetivos estratégicos de la entidad; el Centro de Servicios Conjuntos, responsable de la administración financiera, del recurso humano, información tecnológica y de las adquisiciones; y la Instalación de Vuelo Wallops, a cargo de los programas de investigación suborbital (Dumbar, 2019).

3.4. Plan Estratégico

Para integrar el trabajo de las entidades que conforman la NASA, esta institución estableció un Plan Estratégico para un lapso de cuatro años, de 2018 a 2022. De esta manera la NASA planea cumplir su misión de descubrir y expandir el conocimiento del espacio exterior para el beneficio de la humanidad. En este sentido, lidera un programa de exploración espacial innovador y sostenible con aliados internacionales y empresas comerciales, que permite la expansión humana a través del Sistema Solar, brinda nuevos conocimientos y oportunidades a la Tierra, apoya el crecimiento económico del Estado en cuanto al espacio exterior y la aeronáutica, incrementa el conocimiento del Universo y del planeta, articula la industria para mejorar las tecnologías aeroespaciales de los Estados Unidos, y lidera el avance del país.

Por medio del Plan Estratégico, la NASA mantiene la continuidad de sus objetivos a través del tiempo, buscando servir a los ciudadanos estadounidenses y apoyar las prioridades nacionales por medio de seis conceptos principales: 1). Fomento de nuevos descubrimientos y expansión de las fronteras del conocimiento humano; 2). Integración y diplomacia global; 3). Integración con las políticas de seguridad nacional e industrial; 4). Desarrollo y crecimiento económico; 5). Desarrollo de retos nacionales; y 6). Liderazgo e inspiración (National Aeronautics and Space Administration, 2018).

La NASA históricamente se ha alineado con cuatro mayores temáticas, caracterizada cada una con una palabra, un objetivo estratégico y objetivos específicos.

La primera temática se representa con la palabra “descubrir”, y plantea como objetivo estratégico “expandir el conocimiento humano a través de nuevos descubrimientos científicos”, contemplando que la exploración y el descubrimiento científico estén enfocados para el beneficio de los Estados Unidos y de la humanidad. Para alcanzar este objetivo estratégico consideran dos objetivos específicos:

El primer objetivo específico está enfocado en el entendimiento del Sol, la Tierra, el Sistema Solar y el Universo; este plantea tres elementos centrales como son: el descubrimiento de los secretos del Universo, la búsqueda de vida en el espacio exterior donde este, y el cuidado y mejoramiento de las condiciones de vida en la Tierra. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: orígenes cósmicos, telescopio espacial *James Webb*, exploración exoplanetaria, física del cosmos, exploración a Marte, conocimiento de otros planetas, investigación astrofísica, exploración astrofísica, nuevas fronteras, Discovery, defensa planetaria, investigación planetaria, explorador heliofísico, investigación en biofísica, viviendo con una estrella, sondas terrestres solares, misiones sistemáticas en la Tierra, sistema terrestre de ciencia *pathfinder*, investigación en ciencia terrestre, operaciones multimisión en ciencia terrestre, ciencia aplicada, tecnología en ciencias de la Tierra, tecnología planetaria e investigación suborbital.

El segundo objetivo específico propende por el entendimiento de la respuesta de los sistemas físicos y biológicos al vuelo espacial; por medio de este se conduce un robusto programa de investigación espacial en tecnologías avanzadas que permitan la exploración y uso del medio ambiente espacial en beneficio de la vida en la Tierra. El principal y único programa que contribuye a este objetivo específico son las investigaciones que se realizan en la Estación Espacial Internacional, las cuales proveen oportunidades para entender el rol de la gravedad en los sistemas físicos y biológicos. De esta manera se enfoca la exploración científica en las necesidades planteadas por agencias espaciales de gobiernos, fundaciones privadas o compañías comerciales. Así mismo, la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina, mediante el asesoramiento de un grupo de expertos en ciencia e ingeniería, proporcionan interrogantes que estimulan la investigación, exploración y descubrimientos científicos.

La segunda temática se representa con la palabra “explorar”, y plantea como objetivo estratégico “extender la presencia humana en el espacio profundo y la Luna, para la explotación y utilización sostenible en el largo plazo”, contemplando presionar las

fronteras mismas del espacio a través de la preparación de astronautas en la Estación Espacial Internacional para misiones que vayan más allá del actual conocimiento y experiencia humana dentro del Sistema Solar. De igual manera, proyecta la presencia humana constante en el espacio con fines comerciales; con este objetivo estratégico en mente, los Estados Unidos buscarán aliados internacionales en la siguiente fase de exploración espacial, asignando el mejor capital humano de la NASA, sector privado y talento académico, que se sumarán a las capacidades de sus aliados, para alcanzar estos ambiciosos proyectos. Para alcanzar este objetivo estratégico consideran dos objetivos específicos.

El primer objetivo específico es establecer las bases para la presencia humana permanente de los Estados Unidos en la órbita baja de la Tierra, desarrollándola comercialmente; para esto la NASA creó el Programa de Desarrollo Comercial de Órbita Baja, que apoya directamente los esfuerzos por crear actividades y plataformas comerciales en la órbita baja que puedan ser usadas por la NASA y otros clientes. Los programas que contribuyen a este objetivo estratégico son: las operaciones de vuelo humano espacial, de mantenimiento y de operación de sistemas que se desarrollan en la Estación Espacial Internacional.

El segundo objetivo específico contempla la exploración del espacio profundo, incluyendo la presencia humana en el espacio cislunar y la superficie lunar, desarrollando tecnologías que permitan operaciones sostenidas en estos tres ambientes espaciales. Para esto la NASA desarrolla nuevas capacidades en cuanto a vuelo espacial tripulado, transporte pesado y ambientes habitables en el espacio, de manera que se aumente y mejore la presencia humana en el Sistema Solar. Los programas que contribuyen a este objetivo específico son: Orión, sistemas terrestres de exploración, sistemas de lanzamiento espacial, programa de investigación humana, plataforma orbital lunar *Gateway*, capacidades avanzadas de superficie cislunar, sistemas avanzados de exploración, Estación Espacial Internacional, *Discovery* lunar y programa de exploración.

La tercera temática se representa con la palabra "desarrollar" y plantea como objetivo estratégico "conducir los retos nacionales y catalizar el crecimiento económico", buscando garantizar la seguridad de la nación y el liderazgo de los Estados Unidos en cuanto a desarrollos aeronáuticos; comunicaciones satelitales; sensoramiento remoto; cambio climático; misiones de exploración robótica y humana futuras; generación de soluciones tecnológicas para problemas terrestres; desarrollo de capacidad de transporte y vuelo espacial tripulado; entendimiento del fenómeno cósmico, meteorología espacial, asteroides y exoplanetas; y mejorar la capacidad de innovación de la nación. La NASA busca

por medio de este objetivo estratégico, el desarrollo económico y el crecimiento de la nación, para lo cual se compromete a inspirar a los jóvenes a convertirse en científicos, tecnólogos, ingenieros y matemáticos, buscando de esta manera que exista una base intelectual e industrial que se integre con las agencias del gobierno en este sentido. Para alcanzar este objetivo estratégico consideran tres objetivos específicos:

El primer objetivo específico es desarrollar y transferir tecnologías revolucionarias que fortalezcan y garanticen la capacidad de exploración de la NASA y la nación. Para lograrlo conducirán investigaciones en tecnologías avanzadas que generen productos comerciales espaciales, específicamente para la utilización del espacio cercano a la Tierra, el transporte eficiente a través del espacio exterior, el acceso a superficies planetarias; permitiendo así la exploración espacial humana, las misiones científicas de nueva generación, y el crecimiento y utilización de la capacidad académica e industrial de los Estados Unidos. Este objetivo demanda una estrecha integración de capacidades y colaboración, que permitió el desarrollo de cerca de 40 proyectos con diferentes organizaciones gubernamentales en el 2008. Los programas que contribuyen a este objetivo específico son: alianzas en etapas tempranas de innovación, maduración tecnológica, demostración de tecnología, programa de investigación humana, programa de innovación de pequeños negocios y transferencia tecnológica de pequeños negocios.

El segundo objetivo específico es la transformación de la aviación a través de la investigación de tecnologías revolucionarias, desarrollo y transferencia tecnológica aeronáutica. Este objetivo busca mantener y mejorar el liderazgo global de los Estados Unidos con relación a la aviación, a través de la aplicación de nuevos conceptos y tecnologías generadas por la NASA y desarrolladas en alianza con la industria aeronáutica de los Estados Unidos, de manera que lidere e introduzca mejoras en movilidad, eficiencia y seguridad aeronáutica. Para lo anterior la NASA se enfocó en seis áreas principales de investigación, como son: seguridad y eficiente crecimiento de las operaciones globales; innovación en aeronaves supersónicas comerciales; vehículos comerciales ultra eficientes; transición a la propulsión alternativa y energía; verificación en tiempo real de los sistemas de seguridad; y garantizar la autonomía para la transformación de la aviación. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: conceptos aeronáuticos de transformación, sistemas de aviación integrados, operaciones y seguridad espacial, y vehículos aéreos avanzados.

El tercer objetivo específico es inspirar y comprometer al público con los temas aeronáuticos, espaciales y de ciencia. Por medio de este objetivo busca inculcar, atraer, educar y emplear la nueva generación de colaboradores de la NASA, brindando oportu-

tunidades de aprendizaje en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Para esto se adelantan amplios esfuerzos para diversificar las líneas de los programas STEM que incluyen ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, así como pasantías y trabajo en la NASA. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: Oficina de Comunicaciones, Oficina del Jefe Científico y la Oficina de Diversidad e Igualdad de Oportunidades.

La cuarta temática se representa con la palabra "permitir" y plantea como objetivo estratégico "la optimización de capacidades y operaciones", que busca adaptar nuevos modelos operativos que fortalezcan la administración de las capacidades en sistemas de ingeniería, fundamentales para los objetivos de cada misión. Para alcanzar este objetivo estratégico consideran seis objetivos específicos:

El primer objetivo específico es comprometerse en estrategias con aliados. De esta manera busca esfuerzo cooperativo, apoyo y retorno en inversión para iniciativas espaciales tanto domésticas como internacionales. La NASA identifica, establece y mantiene un amplio grupo de colaboradores domésticos e internacionales en proyectos de beneficio mutuo, encontrando agencias gubernamentales, gobiernos locales, estados y entidades internacionales que contribuyen a los objetivos estratégicos de la NASA y permiten desarrollar capacidades y misiones espaciales. Actualmente, la NASA tiene más de 1.200 acuerdos domésticos con industrias y entidades del sector privado de los Estados Unidos, y más de 800 acuerdos internacionales con cerca de 120 países, cubriendo una amplia variedad de programas, proyectos y actividades espaciales. Más de la mitad de estos acuerdos internacionales son con la ESA y cinco países aliados (Francia, Alemania, Japón, Canadá y el Reino Unido), siendo el más grande y complejo de estos, el proyecto de la Estación Espacial Internacional. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: Oficina de Adquisiciones, Oficina de Alianzas, Oficina de Relaciones Internacionales e Interagencial y la Oficina de Programas de Pequeños Negocios.

El segundo objetivo específico es garantizar el acceso al espacio ultraterrestre y a los servicios. A través de este objetivo específico soportan los programas en cuanto a comunicaciones, servicios de lanzamiento y pruebas de propulsión de cohetes, administran la infraestructura espacial, proveen acceso al espacio para la exploración humana, las misiones robóticas, y desarrollan estrategias de cara a los retos, riesgos y el cumplimiento de cada misión. Estas estrategias mantienen las capacidades críticas disponibles para garantizar el éxito de las misiones de la NASA, ya sea haciendo uso de capacidades gubernamentales o privadas para enviar personas, cargas útiles y datos,

hacia y desde el espacio exterior. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: servicio de lanzamiento, tripulaciones y carga, tripulación comercial, pruebas de cohetes de propulsión, comunicaciones espaciales y sistemas de navegación, programa de activos y capacidades estratégicas.

El tercer objetivo específico es garantizar la seguridad y el éxito de las misiones. De esta manera se certifica la administración efectiva de los programas y operaciones de la NASA para alcanzar de manera confiable el cumplimiento de cada misión. Para lo anterior se incorporan los Programas de Misiones Exitosas y Seguras que incluyen cualidades de aseguramiento de la misión, autoridad y excelencia técnica. Estos mismos programas proveen parámetros de salud y seguridad para los trabajadores de la NASA, aumentando las posibilidades de completar de manera satisfactoria cada uno de los programas, proyectos u operaciones en desarrollo. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: Oficina de Aseguramiento de la Seguridad y la Misión, Centro de Seguridad, Programa de Validación y Verificación Independiente, Oficina del Ingeniero Jefe y la Oficina del Jefe Médico.

El cuarto objetivo específico es la administración del capital humano. Este objetivo se encuentra enfocado en cultivar una fuerza laboral diversa y con capacidad de innovación, con el correcto balance de experiencia y habilidades que permita proveer un medio laboral inclusivo, en el cual los empleados que posean diferentes perspectivas, niveles educativos, experiencias de vida y conocimiento, puedan trabajar juntos y permanezcan unidos en el cumplimiento de la misión. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: Oficina de Administración de Capital Humano, Oficina de Diversidad e Igualdad de Oportunidades y el Centro de Administración y Operaciones.

El quinto objetivo específico es mitigar el riesgo de los proyectos. De esta manera se incrementa la resiliencia de los proyectos de la NASA a través de la evaluación de riesgos e implementación de soluciones comprensivas, económicas y de acción. En tal sentido, la NASA implementa medidas de control que mejoran la efectividad de los proyectos, la capacidad de protección para reducir riesgos en ecosistemas espaciales completos y protecciones en materia económica. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: Programas Protección de Proyectos, Agencia de Servicios Tecnológicos de Información, Oficina de Servicios de Protección y Oficina de Infraestructura Estratégica.

El sexto objetivo específico es garantizar las capacidades de infraestructura y operaciones. Este objetivo permite que las misiones de la NASA sean provistas con faci-

lidades, infraestructura, herramientas y los servicios requeridos para administrarlas y operarlas eficientemente, proveyendo el soporte necesario para el cumplimiento de los objetivos de cada misión. De esta manera se integran y optimizan las operaciones de los Centros de Misión y Soporte para reducir costos y revitalizar las capacidades requeridas en las misiones de la NASA. A través de una evaluación sistemática de las áreas de servicio, se consolida y mejoran las operaciones para mitigar los riesgos y se garantiza una infraestructura segura y confiable. Los programas que contribuyen con este objetivo específico son: el Centro de Operaciones y Administración, y la Oficina de Infraestructura Estratégica.

3.5. Comando Espacial (SPACECOM)

En el plano militar, el 01 de septiembre de 1982 el Gobierno de los Estados Unidos creó el Comando Espacial de la Fuerza Aérea, teniendo como misión principal el desarrollo de las operaciones espaciales. Durante la Guerra Fría, estas operaciones espaciales estuvieron enfocadas en la alerta de misiles, operaciones de lanzamiento, control de satélites, vigilancia espacial, y comando y control en soporte al liderazgo nacional. Sin embargo, fue solo hasta 1991 que se validó por parte de los comandantes el importante aporte del componente espacial a la estrategia militar en tierra, mar y aire (en desarrollo de la Operación Tormenta del Desierto). En el 2001, bajo recomendación de la Comisión Espacial, el Centro de Sistemas Espaciales y de Misiles se unió al Comando Espacial.

Actualmente, el Comando Espacial posee capacidades de lanzamiento en la costa este y oeste de los Estados Unidos, proveyendo servicios de lanzamiento para operadores comerciales, del Departamento de Defensa y de la NASA. Así mismo, a través del comando y control de todos los satélites del Departamento de Defensa y la integración con otros operadores satelitales, provee un cubrimiento global y continuas operaciones autónomas espaciales. Por medio de estas operaciones satelitales se garantizan servicios esenciales de comunicación segura, meteorología, navegación y alerta temprana ante amenazas.

Se consideran como funciones esenciales del Comando Espacial: la puesta en órbita, operación y mantenimiento del Sistema de Posicionamiento Global GPS, la fase tres del sistema de comunicaciones satelitales de defensa, el Programa Satelital Meteorológico de Defensa, el Programa de Soporte y Mantenimiento Espacial de Defensa y el Programa Espacial basado en Tecnología Infrarroja. Para garantizar el acceso al espacio, el Comando Espacial opera los vehículos lanzadores *Delta II*, *Delta IV* y *Atlas V*,

que componen el Programa de Lanzamiento Vehicular Expandible Evolucionado. Así mismo, el Comando Espacial mantiene y opera la red de estaciones de monitoreo satelital a nivel mundial conocida como la "Red de Control Satelital de la Fuerza Aérea", por medio de la cual se garantiza la comunicación satelital permanente a nivel global (Air Force Space Command, 2019).

De igual forma, el Comando Espacial tiene a cargo los radares terrestres, el Sistema Infrarrojo Espacial y el Programa Satelital de Defensa de Monitoreo de Lanzamiento de Misiles Balísticos Intercontinentales alrededor del mundo. Adicionalmente, haciendo uso de radares de vigilancia espacial, realiza un seguimiento permanente de satélites y desechos espaciales tanto para los Estados Unidos como para la comunidad internacional, garantizando la superioridad espacial como una capacidad requerida para proteger los activos espaciales de los Estados Unidos.

Las principales instalaciones del Comando Espacial están ubicadas en las Bases Aéreas de Schriever, Peterson and Buckley, en el estado de Colorado; las Bases Aéreas de Los Ángeles y Vandenberg, en el estado de California; y la Base Aérea de Patrick en el estado de Florida. El Comando Espacial también administra y opera instalaciones espaciales en Dakota del Norte, Alaska, Hawaii y en otros lugares del mundo.

4. Federación Rusa

4.1. Antecedentes

La teoría rusa de la exploración espacial antecede a la época del Imperio Ruso, haciendo referencia a los escritos de Konstantín Tsiolkovski (1857-1935), quien publicó sus estudios a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, y en los cuales desarrolló la ecuación para que los seres humanos escaparan a la fuerza gravitacional de la Tierra e imaginó como habrían de funcionar los cohetes enviados a la Luna: mediante una combinación de propulsores líquidos y en varias etapas⁴. Los conocimientos y principios contemplados en los documentos de Tsiolkovski fueron experimentados por el Grupo de Estudio de Propulsión Reactiva (GIRD por sus siglas en inglés), fundado en 1931; al GIRD también pertenecerían otros pioneros espaciales como Sergei Pavlovich Korolev (quien soñó con el viaje a Marte), y el ingeniero ruso-alemán Friedrich Zander; como resultado de estos experimentos, el 18 de agosto de 1933 se lanzó el

4. El científico alemán Hermann Oberth y el estadounidense Robert Godard llegarían a conclusiones similares; para 1926, Godard había construido y lanzado el primer cohete con combustible líquido, y en el mismo periodo, Oberth determinó que las etapas múltiples eran indispensables para viajes de larga duración. Las ideas de Tsiolkovski, Oberth y Godard cobrarían vida hacia la década de los sesenta, con el desarrollo de los cohetes *Saturn V* que lanzaron las tripulaciones de las misiones *Apollo* a la Luna.

primer cohete soviético de combustible líquido, el *GIRD-09*, y el 25 de noviembre de 1933, el primer cohete de combustible híbrido, el *GIRD-X*.

El Programa Espacial y de Cohetes de la Unión Soviética fue desarrollado por ingenieros y científicos después de 1955; si bien este programa se creó basado en los desarrollos teóricos de Tsiolkovski, quien es considerado el padre de la teoría astronáutica, sería Sergei Korolev la cabeza del grupo de diseño principal, junto a otros científicos importantes como Mijaíl Yángel, Valentín Glushkó y Vladímir Cheloméi. En los primeros 60 años de historia, importantes logros fueron alcanzados en el Programa Espacial Soviético, resaltando: el primer misil balístico intercontinental (1957), el primer satélite artificial el 4 de septiembre de 1957 (*Sputnik 1*), el primer animal en el espacio exterior (la perra Laika en el *Sputnik 2*), el primer humano en una órbita espacial (Yuri Gagarin en el *Vostok-1*), la primera mujer en el espacio y en órbita terrestre (la cosmonauta Valentina Tereshkova en el *Vostok-6*) y la primera caminata espacial (cosmonauta Alekséi Leónov en *Voskhod-2*), entre otros. No obstante, los primeros tripulantes de los vuelos espaciales fueron animales. En efecto, el 22 de julio de 1951, la Unión Soviética lanzaría vuelos suborbitales con perros, como preparación para el *Sputnik 2* en 1957, que llevaría el primer animal a la órbita terrestre (desafortunadamente, Laika moriría durante el vuelo). Luego, el 19 de agosto de 1960, dos perras llamadas Strelka y Belka viajarían en una nave soviética, junto a un conejo, 40 ratones, dos ratas y moscas de la fruta⁵. Estos vuelos dieron a los soviéticos experiencias invaluable en medicina espacial.

Debido al alcance global y a la capacidad de carga útil de casi 5 toneladas, el cohete R-7 fue efectivo como punto de partida para los vehículos espaciales. El plan soviético de lanzar un satélite en este cohete fue aprobado por el líder Nikita Krushev en enero de 1956, e incluía el lanzamiento de satélites que orbitaran la Tierra (*Sputnik*), para ganar conocimiento del espacio, así como de cuatro naves espaciales no tripuladas denominadas *Zenit*; posteriores planes fueron aprobados para el vuelo orbital tripulado y las misiones no tripuladas a la Luna. Después de que el programa *Sputnik* despegó, Korolev se encargó de acelerar el programa tripulado, diseñando la nave espacial *Vostok* como una derivación del programa *Zenit*.

El programa espacial *Vostok* fue el programa de vuelo espacial humano que llevó el primer ciudadano soviético a la órbita baja de la Tierra y lo regreso de manera segura; de esta manera Yuri Gagarin pasó a la historia como el primer humano en el espacio, completando el 12 de abril de 1961 una órbita a la Tierra en el *Vostok 1*, con una

5. Por su parte, los Estados Unidos enviarían un chimpancé llamado Ham, que sobrevivió y despejó el camino para Alan Shepard, el primer estadounidense que alcanzó el espacio exterior en mayo de 1961.

duración de 108 minutos. Eventualmente, este programa conduciría seis misiones tripuladas entre 1961 y 1963; el último vuelo duró cerca de cinco días y las últimas cuatro misiones fueron lanzadas en pares, una un día después de la otra. Además de Gagarin, Valentina Tereshkova (paracaidista civil), pasó la historia como la primera mujer en el espacio, alcanzando la órbita baja de la Tierra el 16 de junio de 1963, a bordo del *Vostok-6*. Posteriormente, el programa *Vostok* fue sucedido por dos vuelos del programa *Voskhod* en 1964 y 1965; este programa introdujo modificaciones en el vehículo espacial, incorporando capsulas de 2 y 3 sillas, así como un cohete lanzador más grande.

Debido al estatus de clasificación del Programa Espacial Soviético, las misiones eran retrasadas hasta que no se garantizara el éxito de estas, manteniendo las misiones fallidas en secreto. Fue gracias al resultado de la política de Mijaíl Gorbachov en los años 80, que se desclasificaron innumerables archivos y se dieron a conocer importantes hechos acerca del Programa Espacial Soviético, incluyendo sus contratiempos y la muerte de Yuri Gagarin en una misión de rutina en un jet de combate; así como las desastrosas experiencias con el enorme cohete N-1, que era el vehículo espacial destinado para volar y aterrizar en la superficie lunar, el cual explotó un poco después del lanzamiento en cada uno de las cuatro pruebas no tripuladas (State Space Corporation ROSCOSMOS, s.f.).

4.2. Agencia Espacial Federal (Roscosmos)

Conocida como la Agencia Espacial de la Federación Rusa, fue conformada en 1992, después de la caída de la Unión Soviética. Esta corporación fue creada de la fusión entre la antigua Agencia Espacial y la Corporación Espacial de Cohetes, con el objetivo de impulsar el sector espacial ruso, comenzando su operación bajo un complejo panorama de presupuesto que no le impidió cumplir los compromisos adquiridos con el proyecto de la Estación Espacial Internacional (Howell, 2018).

Roscosmos es la entidad autorizada y responsable por implementar el Programa Espacial ruso, así como las políticas y regulación legal en cuanto a la actividad espacial. Para lo anterior, se encarga de proveer los servicios espaciales gubernamentales y administrar los intereses estatales en el campo de la exploración espacial, la cooperación espacial internacional, la investigación espacial, el desarrollo de misiles y tecnología espacial para propósitos militares, el desarrollo y manufactura de equipo e infraestructura espacial, la coordinación del mantenimiento espacial y la operación del Sistema Satelital de Navegación Global (GLONASS); en beneficio de los intereses,

desarrollo económico y social de la Federación Rusa y de los consumidores civiles y comerciales (Popovkin, s.f.). Así mismo coordina y administra los Centros Espaciales Rusos.

4.3. Centros Espaciales

Roscosmos además de satisfacer sus propios requerimientos de acceso al espacio, provee servicios de lanzamiento a otros países, lo cual le ha permitido poner en órbita diferentes programas satelitales de observación de la Tierra, satélites militares, de telecomunicaciones y el GLONASS, entre otros. Para garantizar su acceso al espacio, Roscosmos administra cuatro centros espaciales desde los cuales desarrolla su estrategia espacial: el primero de ellos es el Centro Espacial de Baikonur, considerado el más grande del mundo; este centro espacial se encuentra ubicado en la ciudad que lleva el mismo nombre y esta arrendado por Kazajistan a Rusia hasta el 2050. El Centro Espacial de Baikonur consta de 9 posiciones de lanzamiento, 4 lanzadores de prueba para misiles balísticos intercontinentales, 13 instalaciones de ensamble y prueba conformadas por 34 complejos para procesos de pre lanzamiento de naves espaciales y etapas superiores; así como estaciones de producción de oxígeno y nitrógeno y dos aeropuertos (State Space Corporation ROSCOSMOS, s.f.). Baikonur es especialmente importante porque desde allí parten los vuelos espaciales hacia la Estación Espacial Internacional, a través de los cuales desde el 2011, con el retiro por parte de la NASA del Programa Espacial *Shuttle*, los astronautas estadounidenses acceden a esta Estación Espacial haciendo uso del Programa Espacial Ruso (Howell, 2018).

El segundo centro espacial a cargo de Roscosmos es el Centro Espacial de Plesetsk, en el cual se desarrolla y construye la nueva generación de cohetes y proyectos espaciales con el apoyo del Grupo Orbital Ruso. Este centro espacial ubicado en Mirny, Arkhangelsk Oblast, inicio su operación en enero de 1957, mediante un decreto del gobierno Soviético que ordenó la creación de una instalación militar con nombre código "Angara", en la cual se albergara el regimiento de cohetes balísticos intercontinentales R-7, desarrollado por la Oficina de Diseño Experimental OKB (siglas en ruso) liderada por Sergey Korolyov. Para finales de 1964, contaba con 15 lanzadores de misiles R-7A, R-9A, R-16 y R-16A dispuestos para el combate.

Paralelamente, a principios de 1960, debido a la necesidad de incrementar las actividades espaciales, el gobierno Soviético autorizó el uso de los complejos de lanzamiento de misiles balísticos intercontinentales de Plesetsk para el lanzamiento de vehículos espaciales. El primer lanzamiento desde este complejo espacial fue reali-

zado el 17 de marzo de 1966, fecha desde la cual Plesetsk es utilizado con fines duales; como punto de lanzamiento de vehículos espaciales, así como área de pruebas de misiles de combate. El 11 de noviembre de 1994, Plesetsk recibió el estatus de Centro Espacial por parte de la Federación Rusa. Actualmente una parte del Centro Espacial de Plesetsk está a cargo de las Fuerzas Espaciales Rusas⁶ y provee un área para pruebas de proyectos espaciales mayores con capacidad de lanzamiento de cohetes livianos y medianos. Esta instalación posee seis complejos de lanzamiento con 9 posiciones disponibles para cohetes tipo *Soyuz*, *Molniya*, *Kosmos* y *Tsyklon-3*, encontrándose en construcción una posición de lanzamiento para el cohete *Rokot*. De igual manera cuenta con 8 instalaciones de ensamble y prueba que albergan 37 complejos que permiten hacer el alistamiento técnico de los cohetes y naves espaciales. A partir del 2001, este Centro Espacial inició un proceso de modernización para desarrollar el complejo de cohetes espaciales modulares *Angara*, proveyendo una nueva infraestructura para el lanzamiento de cohetes livianos, medianos y pesados (State Space Corporation ROSCOSMOS, s.f.).

El tercer centro espacial en el cual Roscomos desarrolla operaciones es el Centro Espacial Francés y Europeo conocido como Centro Espacial Guyana, ubicado al noroccidente de Kourou en la Guyana Francesa. Esta instalación inició operaciones en 1968 y es particularmente conveniente debido a su ubicación geográfica que satisface los mayores requerimientos de un puerto de lanzamiento, como son su cercanía al Ecuador y el contar con un área oceánica abierta al este de su posición. La ESA, la Agencia Espacial Francesa, Roscosmos y las compañías Arianespace y Azercosmos llevan a cabo lanzamientos desde este centro espacial; desde allí la ESA envía las misiones con carga logística a la Estación Espacial Internacional, usando un Vehículo de Transferencia Automatizado (State Space Corporation ROSCOSMOS, s.f.).

El cuarto centro espacial bajo responsabilidad de Roscomos es el Centro Espacial Civil Vostochny, ubicado en la ciudad de Tsiolkovsky, el cual fue proyectado como un centro tecnológico y clúster espacial. La construcción de este centro espacial inició en 2006, teniendo como objetivo asumir la mayor parte de las operaciones espaciales que se realizan en Baikonur, proveyendo oportunidades laborales para más de 80.000 personas y asegurando el acceso independiente al espacio exterior desde territorio ruso, a través de un amplio rango de capacidades que incluyen el lanzamiento

6. En un principio, la Unión Soviética contaba con unas Tropas de Misiles de Designación Estratégica, a cargo de la Sección de Operaciones Espaciales de las Fuerzas Armadas; luego, en 1967, se inauguraron las Fuerzas de Antimisiles y Defensa Espacial. Pero con la desaparición de la Unión Soviética, la Federación de Rusia crearía la Fuerza Espacial en 1992, como subárea de la Fuerza Aérea Rusa; y a pesar de que la Fuerza Espacial de Rusia ha sido disuelta y restablecida varias veces, ha permanecido activa últimamente desde 2015.

de naves espaciales, vuelos espaciales tripulados y exploración del espacio profundo; convirtiendo a Rusia en un importante aliado para el desarrollo de proyectos espaciales internacionales (State Space Corporation ROSCOSMOS, s.f.).

4.4. Estación Espacial Internacional

La interacción entre los proyectos espaciales soviético y estadounidense tuvo un especial hito en 1975, con el desarrollo de la prueba de integración de los módulos *Apolo* y *Soyuz*, que permitió su acople mientras orbitaban la Tierra. Esta prueba garantizó la compatibilidad de las tecnologías y permitió que astronautas y cosmonautas desarrollaran trabajos conjuntos en el espacio antes de separarse en sus respectivos módulos. La construcción de la Estación Espacial Internacional inició en 1988 con el lanzamiento y puesta en órbita por parte de la Unión Soviética del primer módulo, conocido como *Zarya*, descendiente de la nave espacial *TKS* del programa de estaciones espaciales soviéticas *Salyut*. Posteriores módulos como el *Zvezda*, *Pirs*, *Rassvet*, entre otros, se acoplarían a la Estación Espacial Internacional.

Actualmente, Roscosmos como representante de la Federación de Rusia, se encuentra integrado en la Estación Espacial Internacional a las agencias espaciales de Estados Unidos, Japón, Europa y Canadá, dando cumplimiento a los tratados y acuerdos intergubernamentales pactados para este proyecto espacial. Esta estación espacial que se encuentra ubicada en la órbita baja de la Tierra, sirve como un laboratorio de investigación del medio ambiente espacial y micro gravedad, en el cual los miembros de la tripulación conducen experimentos en biología, biología humana, física, astronomía, meteorología y otros campos; también se utiliza como un área de pruebas para sistemas espaciales y equipo requerido para el desarrollo de las futuras misiones a la Luna y Marte (State Space Corporation ROSCOSMOS, s.f.).

Gracias al involucramiento en este tipo de proyectos, a las reformas introducidas en las empresas aeroespaciales, al posicionamiento del país en el sistema de cooperación espacial internacional y a la revisión profunda de los objetivos estratégicos de desarrollo, la actual industria espacial rusa ha experimentado un resurgimiento notorio en todos sus campos. Esto ha permitido que las decisiones sobre los desarrollos espaciales integren objetivos específicos enfocados al progreso y autosuficiencia de la industria espacial, al fortalecimiento de la capacidad defensiva rusa y al desarrollo de las relaciones internacionales en búsqueda de nuevas oportunidades.

4.5. Programa Espacial

El Programa Espacial Ruso contempla un periodo de desarrollo de 2016 a 2025, a través del cual proyecta alcanzar considerables avances basados en la experiencia acumulada en este sector a través de la historia. Este incluye entre otros proyectos la misión *Exomars* a Marte, que se desarrolla en conjunto con la ESA; la realización de una serie de misiones robóticas a la Luna; la puesta en órbita de un grupo de satélites de comunicaciones y transmisión de televisión y radio que garanticen la independencia de la información en Rusia, estableciendo como objetivo alcanzar un máximo de 73 satélites para el 2025; el incremento del número de naves espaciales tripuladas y no tripuladas en las órbitas cercanas a la tierra para satisfacer los requerimientos mínimos de la exploración espacial rusa; la finalización de la construcción del segmento orbital ruso en la Estación Espacial Internacional, planeando el lanzamiento de 3 nuevos módulos que se acoplarán en los años 2020, 2021 y 2022; la operación del Centro Espacial Vostochny a partir del 2023 para todos los lanzamientos al espacio de naves tripuladas y no tripuladas rusas; la puesta en órbita del laboratorio espacial *Spektr-RG*, por medio del cual la Academia de Ciencias Rusa conducirá investigaciones enfocadas en adquirir y proveer información científica; y la implementación del proyecto del Centro Espacial Nacional como clúster tecnológico para atraer compañías con afinidad al sector espacial, que junto a Roscosmos desarrollen proyectos en tecnología espacial, microelectrónica, ingeniería mecánica y aviación (The Russian Government, 2016).

Por otra parte, y en atención a los enormes y potenciales riesgos de trabajar en el espacio exterior (especialmente en el espacio profundo), en el 2002 se contrató con la Fundación de Proyectos de Investigación Avanzada, el desarrollo de un programa denominado *Final Experimental Demonstration Object Research* (FEDOR por sus siglas en inglés), con el fin de diseñar y construir un robot humanoide que aprendiera y ayudara a la tripulación con las rutinas espaciales en la Estación Espacial Internacional (State Space Corporation ROSCOSMOS, 2019). FEDOR partió hacia el espacio el 22 de agosto de 2019 desde el Centro Espacial de Baikonur, en una nave espacial no tripulada *Soyuz MS-14*, la cual se arribó el 27 de agosto de 2019 (France 24, 2019). De esta manera Rusia busca a través de robots humanoides como FEDOR, crear un sistema de respaldo para las actividades espaciales y las misiones de exploración en el espacio profundo. Inicialmente será controlado desde la Estación Espacial Internacional, planeando en el futuro controlarlo desde la Tierra.

5. República Popular China

5.1. Antecedentes

La República Popular de China visualiza la industria espacial como un componente importante de la estrategia de desarrollo del Estado, adhiriéndose a los principios de exploración y utilización del espacio exterior con fines pacíficos, conceptos que ha mantenido vigentes durante los últimos 60 años. Desde el establecimiento de la industria espacial en 1956, China ha realizado grandes avances en tecnología espacial, incluyendo el desarrollo y fabricación de misiles, cohetes, satélites, vuelo espacial tripulado y sondas espaciales. Estos adelantos tecnológicos han abierto un camino para la independencia tecnológica y la innovación en el país, fortaleciendo el espíritu nacionalista con relación a la industria espacial china. Sumado a lo anterior y con el objetivo de fortalecer y estimular el interés por la innovación, el Gobierno Chino instituyó desde el 2016 al 24 de abril como fecha de conmemoración del Día Espacial Nacional.

El cumplimiento de las actividades espaciales de la República Popular de China está a cargo de la Administración Espacial Nacional China (CNSA por sus siglas en inglés), entidad responsable de alcanzar los objetivos espaciales del Estado; definiendo la exploración del cosmos, el desarrollo de la industria y la construcción del poder espacial, como el sueño que se deben perseguir sin descanso. Para lograrlo, el Programa Espacial chino propone una estrategia integral que vincula conceptos de innovación, cuidado con el medio ambiente, apertura, desarrollo conjunto, promoción de las ciencias espaciales, tecnología y aplicaciones espaciales, en beneficio del desarrollo nacional y del bienestar de la humanidad. La estrategia espacial china plantea como propósito principal explorar el espacio exterior con fines pacíficos para mejorar el entendimiento de la tierra y del cosmos; promover el progreso social; generar beneficios para toda la humanidad; alcanzar metas económicas, científicas y de desarrollo tecnológico; proveer seguridad nacional; mejorar el nivel cultural y científico del pueblo chino; proteger los derechos e intereses de China; y fortalecerse como Estado. Esta misma estrategia espacial tiene como visión posicionar a China como protagonista del poder espacial mundial a través de sus capacidades autónomas de innovación, descubrimientos científicos e investigaciones de alta tecnología, de manera que le permita alcanzar el sueño chino de renovar la nación, mientras contribuye positivamente al progreso de la humanidad (China National Space Administration, 2016).

De esta manera la estrategia espacial china está enfocada en servir de apoyo a la estrategia de desarrollo nacional, integrando los principios de innovación, coordina-

ción, apertura y uso pacífico. El principio de desarrollo de innovación busca alcanzar la independencia en esta materia, considerándola como el núcleo del desarrollo de la industria espacial. Esto lo realiza a través de la implementación de proyectos tecnológicos y de ciencia espacial, el fortalecimiento de la investigación y la exploración científica, la invención tecnológica, e introduciendo profundas reformas institucionales que estimulan la innovación y fomentan el rápido desarrollo de la industria espacial.

A través del principio de desarrollo coordinado, China asigna recursos para impulsar fuerzas sociales que se vinculen organizadamente al desarrollo espacial. De esta manera, todas las actividades espaciales son coordinadas bajo un plan estatal que promueve el desarrollo comprensivo de la ciencia, tecnología y aplicaciones espaciales, mejorando la eficiencia y calidad del progreso espacial. Con relación al principio de apertura, busca combinar su independencia con el desarrollo abierto y la cooperación internacional. En este sentido se compromete con programas de intercambio basados en principios de igualdad y beneficio mutuo, uso pacífico del espacio, desarrollo inclusivo, promoción del progreso de la industria espacial y de desarrollo sostenible integral de largo plazo. Mediante el principio de uso pacífico, China se adhiere al desarrollo pacífico del espacio exterior y se opone a la carrera armamentista en el espacio. En tal virtud, desarrolla y utiliza los recursos espaciales de manera prudente, tomando medidas efectivas para proteger el medio ambiente espacial y garantizar el uso del espacio en beneficio de la humanidad.

5.2. Proyectos Espaciales

El Programa Espacial Chino planea mejorar las capacidades de su industria espacial mediante la conducción de importantes proyectos espaciales, que incluyen entre otros: fortalecer la investigación en tecnologías de vanguardia; implementar el vuelo espacial tripulado y la exploración lunar; consolidar el sistema de navegación satelital *Beidou* y los sistemas de observación de la Tierra en alta resolución; proyectar la nueva generación de vehículos lanzadores; crear un nuevo programa tecnológico y científico que lidere nuevos proyectos espaciales; mejorar la infraestructura espacial; fomenta el uso de aplicaciones espaciales; y estimular la generación de investigaciones en ciencia espacial (China National Space Administration, 2016).

Con relación a los proyectos enfocados en sistemas de transporte espacial, China busca desarrollar y lanzar vehículos espaciales de mediana capacidad no tóxicos, ni contaminantes, introduciendo una nueva generación de vehículos lanzadores. Así mismo, conducirá proyectos para el desarrollo de vehículos lanzadores pesados que

incorporan avances en tecnologías claves con relación a sistemas espaciales y motores de alta potencia. Igualmente, conducirá investigaciones en nuevas tecnologías para vehículos lanzadores de bajo costo, con nuevas etapas superiores y sistemas de transporte espacial reutilizables.

En cuanto a infraestructura espacial, proyecta mejorar sus sistemas satelitales de sensoramiento remoto, comunicaciones, posicionamiento y navegación; al tiempo que planea construir una red de información integrada espacio-tierra. A través de esta infraestructura espacial busca consolidar una capacidad permanente que impulse el sector industrial satelital y las aplicaciones basadas en tecnología espacial. Específicamente en lo relacionado con sistemas satelitales de sensoramiento remoto, se enfoca en el desarrollo de tecnologías de observación de la tierra, el océano y la atmósfera. Así mismo, planea el mejoramiento de la red de estaciones de recepción de satélites, centros de datos, plataformas de integración de datos y plataformas de soporte de aplicaciones comunes que provean servicios a nivel mundial.

Respecto a tecnologías de comunicación satelital, proyecta impulsar las aplicaciones industriales y comerciales, operando principalmente a través de modelos de negocio que satisfagan las necesidades de bienestar público. China desarrollará un concepto de comunicaciones fijas y móviles basadas en satélite, construyendo una red integrada de información, conformada por satelitales en la órbita alta y baja, así como con estaciones en tierra. Referente a los sistemas de navegación satelital, continuará mejorando las capacidades del servicio del Sistema de Navegación Satelital Beidou-2. A través de este sistema planea proveer servicios básicos de navegación a los países ubicados a lo largo del Cinturón Económico del Camino de la Seda, buscando conformar una red de 35 satélites de navegación para el 2020.

Con relación a los proyectos de vuelo espacial tripulado, el 22 de abril de 2017 China realizó un satisfactorio acople del vehículo de carga *Tianzhou-1* con el laboratorio espacial *Tiangong-2* (Spaceflight, 2017), iniciando la exploración de tecnologías que utilizará en los nuevos vehículos de carga, en los módulos y construcción de la estación espacial y en el mejoramiento de la capacidad de vuelo tripulado para adelantar la exploración espacial y el desarrollo del espacio cislunar. En cuanto a la exploración del espacio profundo, continuará su proyecto de exploración lunar, buscando obtener muestras extraterrestres de manera automatizada. Para esto contemplaron una estrategia de tres pasos que incluye orbitar, aterrizar y regresar de la Luna, por medio de las sondas *Chang'e-4* y *Chang'e-5*. La sonda *Chang'e-4* aterrizó el 03 de enero de 2019 (BBC News Mundo, 2019) en el cráter Von Karman, situado en el Polo Sur de la Luna, iniciando la explora-

ción lunar que incluye el desarrollo de estudios geológicos e investigaciones biológicas. En cuanto a la sonda *Chang'e-5*, planea ser puesta en órbita en el 2020, contemplando su regreso a la tierra con muestras lunares para análisis e investigaciones en laboratorio. A través de los datos y muestras obtenidas por ambas sondas, se tiene como objetivo entender la formación y evolución de la Luna. Por otra parte, China planea lanzar su primera sonda de exploración a Marte en el 2020, con el fin de conducir estudios e investigaciones acerca de este planeta. Igualmente tiene la intención de realizar misiones de exploración en asteroides, a Júpiter y otros planetas. Todas estas misiones están enfocadas en desarrollar investigaciones científicas que ofrezcan datos acerca del origen y evolución del Sistema Solar, así como indagar acerca de vida extraterrestre.

Referente al desarrollo de nuevas tecnologías, adelanta experimentos en tecnologías espaciales que proveen soporte a su industria espacial. En este sentido, en el 2016 lanzó el satélite *TanSat* (Chinese Academy of Sciences, 2018), con la misión de monitorear el dióxido de carbono en la Tierra. A partir del 2017 desarrolló y lanzó tres satélites experimentales con nuevas tecnologías en comunicación satelital, el *Shijian-13*, *Shijian-17* y *Shijian-18* (China National Space Administration, 2017), los cuales se encuentran en prueba en la órbita geoestacionaria. Por otra parte, conduce experimentos en tecnologías relacionadas con nueva propulsión eléctrica y comunicaciones laser, y planea construir un sistema de mantenimiento y servicio en órbita para naves espaciales. Con relación a la infraestructura de lanzamiento espacial, se enfoca en mejorar su infraestructura, aumentando su confiabilidad a través del perfeccionamiento de las capacidades y equipo en tierra, e incrementando los equipos redundantes que soportan el cumplimiento de los diferentes tipos de lanzamientos. Igualmente, proyecta la construcción de nuevos lugares de lanzamiento abiertos a la cooperación internacional y al servicio de múltiples usuarios y necesidades.

Respecto a las aplicaciones espaciales, se enfoca en mejorar los servicios de aplicaciones, orientándolas a la industria, las regiones y al público en general; proveyendo aplicaciones integradas y soluciones basada en información espacial. De esta manera buscan elevar los estándares operacionales y niveles de industrialización de las aplicaciones espaciales, apalancando la seguridad nacional y el desarrollo económico y social del país. Referente a la ciencia espacial, China busca llegar a las fronteras científicas y tecnológicas del espacio, haciendo uso de una serie de nuevos programas satelitales científicos con características de desarrollo sostenible, que refuerzan la investigación aplicada, pretendiendo mejorar el conocimiento del Universo por medio de investigaciones en astronomía y física espacial, así como en experimentos científicos y cuánticos, e investigaciones espaciales aplicadas.

Con relación al medio ambiente espacial, busca mejorar los sistemas de estandarización con relación a desechos espaciales, objetos cercanos a la tierra y clima espacial. Para el caso de los desechos espaciales mejorará y compartirá las bases de datos de estos y desarrollará un Sistema Integrado de Monitoreo de Basura Espacial, Alerta Temprana y Respuesta ante Emergencias.

5.3. Políticas del Desarrollo Espacial

El Gobierno Chino formuló 8 políticas específicas para apoyar la industria espacial y crear condiciones favorables para su desarrollo rápido y sostenible. En este sentido asignó la responsabilidad de su implementación y cumplimiento a la Administración Espacial Nacional China (China National Space Administration, 2016).

La primera política propende por el desarrollo de actividades espaciales racionalmente organizadas. Bajo esta política se asigna como prioridad la construcción y uso de la infraestructura espacial, la exploración espacial y la investigación científica, buscando integrar sus esfuerzos para expandir las capacidades de acceso y uso del espacio, en un ambiente seguro de operación.

La segunda política contempla el fortalecimiento de la innovación espacial. Por medio de esta política un gran número de proyectos científicos y tecnológicos están siendo implementados, promoviendo el progreso en tecnología y ciencia espacial. Dentro de esta política, se identifican actores con roles específicos, que permiten crear un ambiente de innovación en el cual se coordinan los esfuerzos del gobierno, las empresas, las universidades, las instituciones de investigación y los clientes finales; creando relaciones técnico-industriales basadas en innovación, que dan forma a una cadena industrial.

La tercera política establece la creación de una capacidad industrial espacial transformada y actualizada. Esta política fue desarrollada para construir un sistema integrado y abierto en el cual se integren sistemas, contratistas especializados, proveedores de mercado y proveedores de servicios públicos, enfocados en dar solución a las necesidades de la economía nacional, abarcando el proceso productivo, desde la investigación científica hasta la producción. De esta manera, se estableció un proyecto para reforzar la estructura espacial, con el fin de solucionar los cuellos de botella y obstáculos concernientes a materiales claves, partes espaciales y tecnología avanzada, incluyendo en este proceso la mejora de los sistemas de estándares y medidas.

La cuarta política busca proveer una industria acelerada de aplicaciones satelitales. Bajo esta política se enfoca la generación de normatividad para el uso de aplicaciones

satelitales, estándares nacionales y sistemas de calidad. Los mecanismos de soporte para la integración de datos satelitales son mejorados a través de la actualización de las plataformas de datos, de manera que se cree un medio ambiente que impulse la industria de aplicaciones satelitales. Por otra parte, se encuentra en desarrollo la creación de clústeres industriales y la generación de mercados para las aplicaciones satelitales, articulados con la cadena industrial. Así mismo, fomentan la integración de tecnologías satelitales con el internet, bases de datos masivas, internet de las cosas y otras industrias emergentes, creando nuevos productos, tecnologías, modelos de negocios y áreas de crecimiento, que permiten generar espacios para una masiva capacidad de emprendimiento e innovación.

La quinta política contempla una fortalecida y relevante legislación de trabajo. A través de esta política se lidera la creación de una legislación nacional que oriente la industria espacial, incluyendo la formulación de regulaciones en cuanto a manejo de datos espaciales, administración de aplicaciones derivadas y la gestión de exportaciones de productos astronáuticos y nuevas tecnologías. Las regulaciones se enfocan también en proyectos de lanzamiento espacial, registro de elementos relacionados con el espacio, permisos para investigación científica, tecnológica y producción; proveyendo un soporte legal para el crecimiento de la industria espacial China.

La sexta política considera el mejoramiento de los sistemas de financiación. Esta política establece un enfoque de inversión gubernamental sostenible que garantiza el financiamiento de las actividades espaciales, definiendo una lista de proyectos espaciales a capitalizar. En este sentido, el Gobierno Chino ha incrementado su interacción con inversionistas privados, no gubernamentales y de otros sectores, quienes son estimulados a participar en proyectos de la industria espacial.

La séptima política busca fortalecer el entrenamiento de profesionales para la industria espacial. De esta manera establecieron los mecanismos relacionados con el entrenamiento, evaluación e incentivos para los profesionales espaciales, conformando un grupo de personas altamente calificadas, que tendrán a su cargo la responsabilidad de diseñar y desarrollar los nuevos proyectos y programas espaciales. Dentro de este enfoque académico incorporaron científicos en estrategia, líderes en investigación, diferentes áreas de conocimiento técnico, emprendedores, y expertos en cooperación internacional.

La octava política contempla la disseminación del conocimiento espacial. Bajo esta política China adelanta diferentes eventos tales como: el día espacial chino, la semana espacial mundial y la semana de la ciencia y la tecnología, entre otros. Lo anterior

con el fin de estimular el conocimiento del espacio, promover el programa espacial tripulado e inspirar el sentimiento espacial nacional, enfocándose especialmente en incitar en los jóvenes el interés hacia la ciencia, la exploración de lo desconocido y la innovación, congregando cada vez más personas entorno a la industria espacial.

5.4. Cooperación internacional

El Gobierno Chino sostiene que todos los países del mundo poseen iguales derechos para explorar, desarrollarse y utilizar pacíficamente el espacio exterior y los cuerpos celestes, en beneficio del desarrollo económico, social y seguro de la humanidad. Así mismo considera que el intercambio y cooperación internacional debe ser fortalecido bajo los principios de igualdad, mutuo beneficio y desarrollo inclusivo (China National Space Administration, 2016).

En este sentido, adoptaron políticas específicas con relación al intercambio y cooperación internacional espacial que establecen: apoyar las actividades con relación al uso pacífico del espacio exterior dentro del marco regulatorio de las Naciones Unidas; apoyar las actividades de todas las organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales que promuevan el desarrollo de la industria espacial; fortalecer la cooperación bilateral y multilateral como base para alcanzar objetivos comunes; apoyar y proyectar la Organización de Cooperación Espacial Asia-Pacífico (ASPCO por sus siglas en inglés), como un actor importante en cooperación espacial regional, desarrollando cooperación espacial bajo el mecanismo de cooperación BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica) y dentro del marco de la Organización de Cooperación de Shanghái; y apoyar los esfuerzos de institutos nacionales de investigación, empresas industriales, instituciones de alto nivel educativo y organizaciones sociales, para desarrollar intercambios y cooperación espacial de diversas formas y en varios niveles, bajo la guía de políticas estatales, leyes y regulaciones en esta materia.

En el marco de la estrategia de intercambio y cooperación internacional, China ha firmado 43 acuerdos de cooperación espacial y memorandos de entendimiento con 29 países, agencias espaciales y organizaciones internacionales que han traído importantes beneficios al país; varios de ellos en proyectos y actividades auspiciadas por la Organización de Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales.

Específicamente en cuanto a cooperación internacional bilateral, China ha establecido importantes convenios con Rusia, por medio del cual promueven la cooperación en temas de exploración del espacio profundo, vuelo espacial tripulado, observación de la tierra, navegación satelital, fabricación de componentes espaciales y partes elec-

trónicas, entre otras áreas; con la ESA, por medio del cual establecen su determinación para cooperar en exploración del espacio profundo, ciencia espacial, observación de la tierra, servicios de telecomunicaciones, desechos espaciales, educación y entrenamiento espacial, el lanzamiento de un satélite para toma de imágenes panorámicas del viento solar y su interacción con la magnetosfera, y en el programa de Dragon-3; con Brasil, a través del cual se generaron mecanismos de cooperación para el desarrollo del Programa Satelital de Monitoreo de los Recursos de la Tierra (CBERS por sus siglas en inglés), el programa de aplicación y manejo de datos de satélite de sensoramiento remoto, la actualización de las estaciones de recepción del programa CBERS ubicadas en Suráfrica y Singapur, y la puesta en funcionamiento del laboratorio conjunto de meteorología espacial; con Francia, para el desarrollo de programas satelitales enfocados en astronomía, el océano y otras áreas, así como en la aplicación de tecnologías espaciales para administrar los retos impuestos por el cambio climático; y con Italia, a través del cual han desarrollado permanentes investigaciones en el Programa Satelital Experimental de Monitoreo Electromagnético.

Por otra parte China ha adelantado acuerdos y memorandos de entendimiento espacial con Gran Bretaña, para la promoción y construcción de un laboratorio conjunto enfocado en ciencia y tecnología espacial, creando intercambios de personal e impulsando estudios conjuntos con relación a aplicaciones de sensoramiento remoto; con Alemania, para promover el diálogo entre sus industrias espaciales, fortaleciendo la cooperación en procesos de manufactura de productos espaciales; con Holanda, para promover las aplicaciones de sensoramiento remoto en agricultura, recursos hídricos y medio ambiente atmosférico; y con los Estados Unidos, para conducir actividades espaciales civiles en cuanto a desechos espaciales, meteorología espacial, respuesta al cambio climático y otras áreas. Así mismo, China estableció mecanismos de cooperación espacial bilateral con Argelia, Argentina, Bélgica, India, Indonesia y Kazajistán para desarrollar proyectos en áreas de tecnología espacial, aplicaciones espaciales, ciencia espacial, educación y entrenamiento.

Con relación a los mecanismos de participación y cooperación multilateral, China participa activamente en las actividades del Comité de Uso Pacífico del Espacio Exterior de las Naciones Unidas, así como en diferentes escenarios en los cuales se abordan temas de la regulación espacial internacional. En este mismo sentido, firmó un memorando de entendimiento con la Organización de Naciones Unidas, enfocado en proveer soporte técnico y datos con relación a la observación de la tierra, promoviendo la integración y la cooperación entre el Programa Satelital de Observación de la Tierra chino y el de las Naciones Unidas, apoyando así activamente el esfuerzo internacional

para la prevención y reducción del impacto de los desastres a nivel global. Debido a esta cooperación espacial, las Naciones Unidas establecieron una oficina en Beijing para administrar la respuesta a desastres y emergencias, basados en información espacial. Así mismo, establecieron en esta misma ciudad, un Centro Regional de Educación en Ciencia y Tecnología Espacial para Asia-Pacífico, con el fin de promover el entrenamiento de personas en temas espaciales.

Igualmente, dentro del marco de Cooperación Espacial Asia-Pacífico, participa activamente en el Programa Conjunto de la Constelación de Satélites Pequeños Multimisión, concebido como una iniciativa para proveer una capacidad espacial regional. Así mismo, con las agencias espaciales de Brasil, Rusia, India y Suráfrica, ha promovido activamente la construcción de la Constelación de Satélites de Sensoramiento Remoto del BRICS; y por otra parte creó el Centro de Información Satelital con Aplicación Marítima y el Centro de Intercambio de Información Espacial del río Lancang-Mekong.

Adicionalmente y como parte de su estrategia espacial, China promueve y apoya sus empresas nacionales para participar en actividades comerciales espaciales. De esta manera ha exportado y entregado satélites en órbita a países como Nigeria, Venezuela, Bolivia, Laos y Bielorrusia, entre otros. De igual manera provee servicios comerciales de lanzamiento para sus propios intereses y de terceros; incorporando el servicio de lanzamiento de satélites pequeños que han utilizado países como Ecuador, Argentina, Polonia, Luxemburgo y entre otros.

6. Conclusiones

Es innegable como las actividades espaciales han mejorado el conocimiento del hombre tanto del espacio como del planeta Tierra, consolidándose como un importante motor de progreso; por esta razón, cada vez más, tanto gobiernos como entidades privadas se involucran en actividades espaciales con impacto estratégico, en un interés global por desarrollar capacidades o tecnologías vinculadas con el espacio que generen réditos para los habitantes de la tierra. De esta manera, el actual estilo de vida de las sociedades se encuentra en un periodo de transformación, siendo moldeado en gran medida por los avances logrados en tecnología espacial.

En este mismo sentido y después de relatar cada uno de los programas espaciales de Europa, Estados Unidos de América, la Federación Rusa y la República Popular de China, se puede evidenciar la elevada importancia que estos miembros de la comunidad espacial internacional le asignan al desarrollo y al mejoramiento continuo de las tecnologías espaciales en beneficio de sus intereses y de la humanidad.

Los cuatros programas contemplan temas comunes que consideran vitales para el desarrollo de su estrategia espacial, los cuales son: necesidad de garantizar y mejorar la capacidad de acceso y explotación del espacio; desarrollo comercial de las tecnologías satelitales que orbitan la tierra; fomento de aplicaciones basadas en tecnología satelital; exploración del espacio cislunar, la Luna, asteroides y desarrollo de misiones dentro de nuestro Sistema Solar, así como del espacio profundo, tanto para adquirir conocimiento científico, como para la explotación comercial, la identificación de potenciales lugares que alberguen la vida humana fuera de la Tierra, la identificación de vida extraterrestre y para la defensa del planeta ante amenazas naturales del espacio; cooperación internacional y adelanto de proyectos conjuntos; desarrollo de nuevos vehículos lanzadores y fuentes de energía; vuelo espacial tripulado; uso racional del espacio y administración de los desechos espaciales; socialización de los beneficios de las tecnologías espaciales; estímulo a las futuras generaciones para educarse en ciencias espaciales; uso de la actual capacidad espacial para administrar desastres en la superficie terrestre; y el compromiso para el uso del espacio exterior con fines pacíficos.

De esta manera se evidencia la importancia que el espacio representa para las potencias mundiales, lo cual sin duda estimula a todo tipo de actores para tomar la decisión de acceder, explotar y explorar el espacio, en el cual aún casi todo está por descubrir.

Referencias

- Air Force Space Command. (2019). *Air Force Space Command*. Retrieved from <https://www.afspc.af.mil/About-Us/AFSPC-History/>
- BBC News Mundo. (2019, Enero 3). *BBC*. Retrieved from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46743408>
- China National Space Administration. (2016, December 27). *China National Space Administration*. Retrieved from <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6768527/content.html>
- China National Space Administration. (2016, December 27). *China National Space Administration*. Retrieved from <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6768527/content.html>
- China National Space Administration. (2016, December 27). *China National Space Administration*. Retrieved from <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6768527/content.html>
- China National Space Administration. (2016, December 27). *China National Space Administration*. Retrieved from <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6768527/content.html>

- China National Space Administration. (2017, February 27). *China National Space Administration*. Retrieved from <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6778858/content.html>
- Chinese Academy of Sciences. (2018, April 17). *Phys.org*. Retrieved from <https://phys.org/news/2018-04-global-carbon-dioxide-chinese-satellite.html>
- Communication Department. (2019, March 20). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA/What_is_ESA
- Dumbbar, B. (2019, September 4). *National Aeronautics and Space Administration*. Retrieved from https://www.nasa.gov/about/org_index.html
- European Space Agency. (2016). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/About_satellite_navigation2
- European Space Agency. (2017, October 10). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Space_Transportation_strategy
- European Space Agency. (2017, May 10). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/New_Technologies/FLPP_preparing_for_Europe_s_next-generation_launcher
- European Space Agency. (2017, August 24). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo_and_EGNOS
- European Space Agency. (2017, February 21). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Directorate_of_Technology_Engineering_and_Quality_TEC
- European Space Agency. (2018, October 3). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/ARTES/About_ARTES
- European Space Agency. (2019). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth
- European Space Agency. (2019, January 28). *European Space Agency*. Retrieved from: https://www.esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/About_human_and_robotic_exploration
- European Space Agency. (2019). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Space_Transportation_and_industry
- European Space Agency. (2019, February 5). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/ESA_s_Cosmic_Vision
- European Space Agency. (2019, April 17). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/About_Operations

- European Space Agency. (2019, March 8). *European Space Agency*. Retrieved from https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Safety/Plans_for_the_future
- France 24. (2019, August 27). *France 24*. Retrieved from <https://www.france24.com/en/20190827-russia-space-station-spacecraft-carrying-humanoid-robot-fedor-docs-iss-soyuz>
- Howell, E. (2018, January 30). *Space*. Retrieved from <https://www.space.com/22724-roscosmos.html>
- Jim, W., & Brian, D. (2018, April 2). *National Aeronautics and Space Administration*. Retrieved from <https://www.nasa.gov/content/nasa-history-overview>
- National Aeronautics and Space Administration. (2018). *NASA Strategic Plan 2018. Strategic Plan*. Washington D.C., Columbia, United States.
- Popovkin, V. (n.d.). *Government of the Russian Federation*. Retrieved September 2019, from <http://archive.government.ru/eng/power/106/>
- Presidency of the United States. (2017, December 11). *Space Policy Directive 1 . Space Policy Directive*. Washington D.C., Columbia, United States.
- Presidency of the United States. (2019, February 19). *Space Policy Directive 4. Space Policy Directive*. Washington D.C., Columbia, United States.
- Presidency of the United States of America. (2010, June 28). *National Space Policy of the United States of America. National Space Policy*. Washington D.C., Columbia, United States.
- Spaceflight. (2017, April 22). *Spaceflight*. Retrieved from <http://spaceflight101.com/tiangong-2/tianzhou-1-cargo-vehicle-arrives-at-tiangong-2/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (2019, August 1). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved from <http://en.roscosmos.ru/20847/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (n.d.). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved September 2019, from <http://en.roscosmos.ru/174/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (n.d.). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved September 2019, from <http://en.roscosmos.ru/479/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (n.d.). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved September 2019, from <http://en.roscosmos.ru/480/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (n.d.). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved September 2019, from <http://en.roscosmos.ru/484/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (n.d.). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved September 2019, from <http://en.roscosmos.ru/255/>
- State Space Corporation ROSCOSMOS. (n.d.). *State Space Corporation ROSCOSMOS*. Retrieved September 2019, from <http://en.roscosmos.ru/202/>
- The Russian Government. (2016, March 17). *The Russian Government*. Retrieved from <http://m.government.ru/en/all/22220/>



CAPÍTULO VI

LA NUEVA ECONOMÍA DEL SIGLO XXI: EL SECTOR PRIVADO EN EL ESPACIO*

*Carlos Enrique Álvarez Calderón
CT. María Alejandra Corzo Zamora
MY. Gerson Ricardo Jaimes Parada
CR. Ricardo Javier Paredes Muñoz*

*Este capítulo hace parte del Proyecto de Investigación de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales, *Desafíos y Nuevos Escenarios de la Seguridad Multidimensional en el Contexto Nacional, Regional y Hemisférico en el Decenio 2015-2025*, el cual hace parte del Grupo de Investigación "Centro de Gravedad" de la Escuela Superior de Guerra General Rafael Reyes Prieto, reconocido y categorizado en (A1) por COLCIENCIAS, con el código COL0104976; así como del proyecto de investigación *Estudio de Investigación Prospectiva y futuros escenarios para Ciencia, Tecnología e Innovación en la Fuerza Aérea Colombiana*, de la Fuerza Aérea Colombiana, el cual hace parte de los Grupos de Investigación "Gestión Tecnológica e Innovación" y "Ciencias Biomédicas Espaciales", reconocidos y categorizados en (C) por COLCIENCIAS, con los códigos COL01983319 y COL0196332, respectivamente.

1. Introducción

Es cada vez más evidente que las oportunidades comerciales en el uso del espacio exterior, mediante la venta de bienes y servicios espaciales a gobiernos y clientes privados, están creciendo. Si bien en los últimos 50 años, Estados Unidos había sido el líder mundial en materia tecnológica y comercial en el espacio ultraterrestre, hasta la década de 1980, las empresas privadas en ese país eran tan solo contratistas y proveedores del programa espacial estadounidense, y no ofrecían servicios espaciales al público en general. La única excepción a la regla se presentaba en el área de las telecomunicaciones; desde los inicios de la era espacial, las compañías privadas estadounidenses de telecomunicaciones, como AT&T, diseñaron, construyeron y operaron satélites de comunicaciones, ofreciendo servicios al público bajo estrictas regulaciones y supervisión gubernamental.

Pero desde entonces, el entorno ha cambiado dramáticamente. En poco más de una década, el sector espacial ha experimentado un desarrollo considerable en todo el mundo, impulsado por la globalización y la digitalización. En efecto, las empresas norteamericanas compiten en la actualidad contra muchas otras compañías extranjeras en casi todos los sectores de la economía espacial: vehículos de lanzamiento, satélites de teledetección, satélites de telecomunicaciones de todo tipo (voz, televisión directa, servicios fijos y móviles), así como servicios de navegación, entre otros. Además, la capacidad tecnológica para construir y operar sofisticados equipos espaciales se ha extendido por todo el mundo, por lo que ya no es dominio exclusivo de las economías más avanzadas; en consecuencia, el espacio exterior se ha convertido en una empresa global en la cual el número de participantes públicos y privados ha venido creciendo rápidamente. Las ventajas únicas del entorno espacial han contribuido, en gran medida, a la tendencia creciente hacia la globalización del espacio, a través de la cobertura casi universal de áreas pobladas con productos y servicios de comunicaciones y observación.

A su vez, un aumento en la globalización puede estimular un mayor crecimiento del comercio espacial, por lo que debe ser vista como la suma de varios componentes: políticos, comerciales y culturales. De este modo, las capacidades y tecnologías espaciales contribuirían de manera diferente a cada uno de ellos, por lo que el alcance de la globalización espacial debe ser analizado por sus elementos, no en conjunto. Con base en lo anterior, este capítulo analiza la tendencia a largo plazo hacia la globalización espacial y cómo el crecimiento de las compañías multinacionales y el mercado global han influido en el comercio y el poder espacial.

2. Globalización del espacio

El espacio exterior siempre ha proporcionado una perspectiva global de la Tierra. Empero, durante los inicios de la primera era espacial, esa perspectiva solo estaba disponible para un puñado de superpotencias. Hoy por hoy, el espacio exterior es realmente una actividad global, y la proliferación de actividades espaciales en muchos Estados del mundo ha alentado un proceso de globalización para la nueva frontera de la humanidad: el espacio exterior. Pues bien, la globalización sería el proceso de interacción humana caracterizado por la facilidad de trascender las fronteras nacionales -y ahora, terrestres-, para alcanzar fines definidos de variadas maneras (Álvarez y Zambrano, 2017). En este sentido, las actividades espaciales se han venido expandiendo de manera acelerada, con un número récord de Estados y empresas privadas comprometidas a invertir en el sector espacial. Mientras que, en el año 2000, el gobierno y la industria de Estados Unidos poseían alrededor del 50% de las naves espaciales existentes en órbita, en la actualidad, cuando el número total de naves espaciales se ha triplicado, esa fracción habría disminuido al 35%, como resultado del crecimiento de las actividades espaciales de otros actores internacionales, tanto públicos como privados.

Varios factores habrían alimentado esta globalización del espacio. La mayor accesibilidad a la tecnología espacial, causada por la evolución en la industria de la microelectrónica, ha hecho que la tarea de diseñar y construir una nave espacial sea mucho más barata y sencilla de lo que era hace 40 o 50 años. Esta accesibilidad, junto con la amplia disponibilidad de oportunidades de lanzamiento de naves espaciales a costos relativamente bajos, ha hecho posible que casi cualquier Estado -con voluntad política-, emprenda su propio programa espacial, dedicando para ello una inversión relativamente pequeña. En efecto, Estados Unidos destina el 0,2% de su Producto Interno Bruto (PIB), Rusia el 1,7%, Francia el 0,1%, China el 0,08%, Japón el 0,7%, India el 0,06% y México el 0,006%, a sus programas espaciales (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OECD-, 2019).

Desde la Revolución Industrial, hasta la relativamente reciente explosión tecnológica que dio origen a la era moderna de la información, solo una cosa habría permanecido constante: es difícil imaginarse cuán profundo, integral y rápido es el avance tecnológico que altera la vida cotidiana. Este avance comenzó con prototipos únicos que tomaron mucho trabajo para diseñarse, construirse y perfeccionarse; debido a ello, sus costos iniciales eran tan altos que solo los más ricos podían permitirse adquirirlos. Pero, a medida que se comercializaron, se estandarizaron para aprovechar el modelo de producción en serie y las economías de escala. Simultáneamente, se diversificaron en estilo y precio, en respuesta a una demanda cada vez más heterogénea, y luego se convirtieron en productos que hacían parte de la vida cotidiana, cambiando en gran medida la cara del comercio y del empleo. Y, a medida que proliferaron, su precio bajaría hasta que casi todos tenían la capacidad de obtenerlos; por ejemplo, si bien un grueso de la población no tiene los recursos para comprar un avión, sí tiene posibilidad de adquirir un pasaje aéreo.

Estos son los efectos tangibles del proceso de globalización, o la sinergia de la tecnología y el comercio, si se toma en consideración que la globalización es el “proceso por el cual las economías y los mercados, con el desarrollo de las tecnologías de las comunicaciones, adquieren una dimensión mundial” (Álvarez y Zambrano, 2017, p. 251). Los ejemplos del transporte marítimo, terrestre y aéreo, así como la era digital y muchos otros esfuerzos, demuestran que la tecnología combinada con el comercio va integrando las economías nacionales en una economía global, a la vez que incentiva la exploración de nuevos mercados y tecnologías. Esto ocurre tan universalmente, que cualquier discusión sobre nuevas fronteras tecnológicas, como la de aplicaciones espaciales, debería asumir una expectativa de múltiples recompensas para el desarrollo económico y la prosperidad social. Como lo atestigua la experiencia histórica, las tecnologías permitieron a la humanidad perfeccionar las mejores prácticas para la evolución del comercio, en su exploración de nuevas fronteras.

Un caso histórico fue el de la frontera marítima. En los siglos XV y XVI, el creciente comercio condujo a avances tecnológicos en la construcción de barcos y la navegación. Financiados por los monarcas de Europa, los primeros barcos zarparon en sus traicioneros viajes para explorar otros continentes y establecer nuevas rutas de comercio. A medida que aumentó la demanda de los nuevos recursos, se daría el comercio de bienes suntuosos, inicialmente destinados para los clientes más acaudalados; los viajes eran caros, extremadamente peligrosos y difíciles y, por tanto, las ganancias obtenidas reflejaban ese alto costo. A medida que llegaron más barcos a las primitivas costas del hemisferio americano o el continente africano u oceánico, los recientemente es-

tablecidos asentamientos portuarios desarrollaron rápidamente capacidades para el reabastecimiento de consumibles como alimentos, sogas y alquitrán, proporcionados por fuentes locales, por lo que los barcos ya no necesitaban transportar todos sus insumos para el viaje de regreso, haciendo más espacio para la carga comercial. Esto permitió que su diseño avanzara para favorecer embarcaciones más pequeñas y ágiles, donde se podría usar más espacio para transportar bienes rentables, convirtiéndose en una economía comercial mucho más próspera, que presionó por un avance tecnológico aún mayor.

El comercio se hizo más frecuente y, en consecuencia, más barato, dando paso a un ciclo virtuoso. El transporte privado floreció, proporcionando no solo una base para el comercio, sino también un dominio de los mares que se tradujo en una defensa naval más sólida, una bendición inesperada para los Estados. Pero, en términos de la participación directa en el comercio de la gente común, se necesitó el avance tecnológico transformador del contenedor de mercancías para reducir drásticamente los costos, permitiendo un sistema de transporte intermodal que contribuyó a una mejor calidad de vida para todos. El contenedor de mercancías, que podía cargarse desde un barco a un vagón de ferrocarril, y luego a un camión, revolucionaría por sí solo el comercio internacional; aunque sus antecedentes datan de fines del siglo XVIII, su uso se generalizó después de la Segunda Guerra Mundial cuando las industrias de transporte marítimo, ferroviario y de camiones rediseñaron sus vehículos para acomodar estos contenedores estandarizados, lo cual permitió el transporte seguro y barato de bienes y condujo al auge del comercio internacional de la posguerra y a la economía mundial globalizada de la actualidad.

Por otro lado, un caso adicional de análisis sobre cómo la relación simbiótica entre la tecnología y el comercio promueven la prosperidad y el desarrollo, podría ser el de la expansión de la frontera terrestre de Estados Unidos. En efecto, a instancias del presidente Thomas Jefferson y con fondos del congreso estadounidense, Meriwether Lewis y William Clark comenzaron el proceso de compra del territorio de Louisiana de manos de los franceses, y la exploración del oeste americano, documentando sus viajes y hallazgos de este nuevo espacio terrestre, lo que marcó el comienzo de una serie de expediciones, en su mayoría militares, financiadas por el gobierno, que encontraron rutas prácticas hacia el oeste, mapeándolas y documentándolas. Con base en el potencial que transmitían sus observaciones, los pioneros hicieron temerarios viajes en vagones cargados hacia el nuevo territorio, descubriendo la riqueza agrícola de la cuenca del Mississippi, el oro y plata de las montañas Rocosas, y las oportunidades de comercio marítimo del Océano Pacífico, confirmando con ello que el oeste

americano tenía una gran potencial para Estados Unidos y su economía. Sin embargo, aprovechar el potencial de esta nueva tierra exigía la infraestructura de transporte necesaria para integrarla en la economía nacional; y fue solo después de que se aplicase la red ferroviaria, y luego de autopistas, con la invención del automóvil, que se habilitó el transporte frecuente, seguro y asequible de personas y bienes, estimulando el auge económico proporcionado por el comercio de la nueva frontera. La comercialización del oeste expandió la economía de Estados Unidos de manera exponencial, acumulando nueva riqueza para toda la nación. El uso de la nueva infraestructura de transporte disponible y sus facilidades, también permitió que la nueva tierra fuese militarmente defendible, y su ubicación estratégicamente valiosa.

Estos dos ejemplos históricos demuestran que el paradigma de exploración inicia con expediciones individuales financiadas por gobiernos, con viajes poco frecuentes y enormemente costosos. Pero una vez que la exploración identifica los activos que vale la pena capitalizar, los gobiernos proporcionan la infraestructura tecnológica para estimular el papel del sector privado en el creciente comercio, y así desarrollar las nuevas fronteras. En este sentido, los sectores público y privado han reconocido actualmente el potencial del comercio espacial, anticipándose a su comercialización, por lo cual ya se ha superado la etapa exploratoria, dando inicio a una globalización del espacio en el que participan tanto actores estatales como no estatales. Por ende, el espacio es una industria global en donde las empresas compiten entre sí la oferta de bienes y servicios espaciales, entre los cuales se destacan los servicios de lanzamiento; así mismo, la fabricación de satélites, que antes dependía en gran medida de las compañías estadounidenses, ahora es una industria con empresas ubicadas en todo el mundo.

Las actividades espaciales comerciales más rentables son aquellas que proporcionan comunicaciones rápidas en todo el mundo. Ya sea que se trate de servicios de navegación y temporización de los satélites GPS, transmisiones directas de TV, enlaces de terminales de muy pequeña apertura de las compañías de tarjetas de crédito, o comercio financiero electrónico, el sistema económico global ahora está vinculado a través de satélites y capacidades espaciales. Si no fuera por la existencia de un mercado global grande y bien financiado para estos servicios, los sistemas satelitales que los atienden probablemente no serían rentables (Doboš, 2019). Lo que se ha desarrollado a lo largo del tiempo es una dependencia circular: las tecnologías crean nuevas oportunidades económicas, y los grandes mercados crean inversiones rentables en infraestructura con negocios terrestres multiplicativos posteriores. No obstante, debido a la naturaleza de doble uso de muchas actividades espaciales, existen límites regulatorios y legales sobre el grado de comercio internacional que puede ocurrir en esta industria.

Es así como, la evolución de los servicios satelitales ha creado ciertos dilemas. Por ejemplo, un Estado como Estados Unidos ya no puede planificar racionalmente el control de los sistemas o capacidades. En tiempos de conflicto, sería casi imposible interrumpir los servicios porque las empresas y los gobiernos, como clientes, dependen de ellos. De hecho, el gobierno estadounidense es uno de los principales usuarios de las redes de comunicaciones comerciales. Otro dilema es que las señales satelitales no comienzan y terminan limpiamente en las fronteras nacionales. Algunos Estados están cada vez más indignados por su incapacidad para censurar o controlar los mensajes económicos y políticos recibidos por sus sociedades. Del mismo modo, algunas culturas están intentando resistir las intrusiones de los valores occidentales que predominan en los sectores de negocios y entretenimiento. Esto está creando sentimientos aislacionistas políticos y regionales, que algún día pueden resultar en intentos de interrumpir ciertas transmisiones satelitales. Tales intentos hacen que la cuestión del poder espacial sea integral, tanto para el crecimiento de la globalización, como para el desarrollo continuo de los grandes mercados mundiales de servicios satelitales que pueden generar ganancias y nuevos esfuerzos comerciales espaciales. El Estado que lidere el espacio comercial, tendrá una mayor participación en el crecimiento económico y podrá dictar los estándares de la industria, una herramienta importante para el dominio económico futuro, así como para la seguridad espacial (Doboš, 2019). Por tanto, si la globalización del espacio continúa su rápido avance, entonces, el poder espacial comercial de un Estado sería de gran importancia.

En definitiva, la globalización está afectando la economía espacial en diferentes niveles. En la década de 1980, solo unos pocos países tenían la capacidad de construir y lanzar un satélite. Muchos más países y actores corporativos, en una amplia gama de sectores industriales, se dedican ahora a actividades relacionadas con el espacio, una tendencia que continuaría creciendo en los próximos años.

Las cadenas de suministro para el desarrollo y operación de sistemas espaciales también están evolucionando cada vez más a nivel internacional, incluso si el sector espacial sigue estando fuertemente influenciado y conformado por consideraciones estratégicas y de seguridad. Muchas tecnologías espaciales son de doble uso, es decir, empleadas tanto para programas civiles como militares, lo que tiende a restringir el comercio internacional de productos espaciales. No obstante, las cadenas de suministro de productos y servicios para sistemas espaciales se están internacionalizando a un ritmo acelerado.

Si bien el modo de interacción entre los actores espaciales puede variar, por ejemplo, cooperación entre agencias espaciales, contratación externa a proveedores extranjeros, programas de compensación industrial, la tendencia hacia la globalización

está teniendo un impacto en toda la economía espacial, en la Investigación y Desarrollo (I+D), diseño, fabricación y servicios.

3. Caracterización de la economía espacial

Desde el objetivo aspiracional de llevar a un hombre a la Luna, hasta la exploración del Sistema Solar con tecnología satelital, la búsqueda de planetas habitables y la minería de asteroides, la industria espacial se ha desarrollado aceleradamente en los últimos 60 años.

Después de décadas de control centralizado de la actividad económica en el espacio exterior, el alcance de las acciones relacionadas con el espacio ultraterrestre se ha ampliado gradualmente, a medida que las mejoras en la tecnología, impulsadas por el sector espacial tradicional, se han extendido a la economía en general.

La economía espacial global comprende las actividades centrales de la industria espacial en la fabricación y operaciones satelitales, además de otras actividades de consumo que se han derivado de la investigación y el desarrollo gubernamentales. Según la OECD (2014, p. 38), la economía espacial podría definirse como:

La gama completa de actividades y el uso de recursos que crean y proporcionan valor y beneficios a los seres humanos en el curso de la exploración, comprensión, gestión y utilización del espacio. Por tanto, incluye a todos los actores públicos y privados involucrados en el desarrollo, la provisión y el uso de productos y servicios relacionados con el espacio, que van desde la investigación y el desarrollo, la fabricación y el uso de infraestructura espacial (estaciones terrestres, vehículos de lanzamiento y satélites), hasta aplicaciones habilitadas para el espacio (equipos de navegación, teléfonos satelitales, servicios meteorológicos, etc.), y la ciencia conocimiento generada por tales actividades. De ello se deduce que la economía espacial va mucho más allá del sector espacial en sí mismo, ya que también comprende los impactos cada vez más penetrantes y continuamente cambiantes (tanto cuantitativos como cualitativos de los productos, servicios y conocimientos derivados del espacio sobre la economía y la sociedad.

Según Weinzierl (2018), el concepto de economía espacial es un reflejo de la transición de la tradicional industria espacial al "nuevo espacio"; es decir, un modelo de la industria espacial que tiene una nueva estructura -incremento en el número de actores privados-, y diferentes objetivos que incluyen agilidad, capacidad de respuesta, aceptación del riesgo y, significativamente, menores costos.

La evolución del “nuevo espacio” también refleja el uso y la aplicación de tecnologías que fueron originalmente diseñadas y utilizadas para la exploración espacial, pero que desde entonces han sido reutilizadas para usos alternativos; por tanto, la economía espacial es un nicho de alta tecnología con un ecosistema complejo, que empleó al menos a 900.000 personas en 2013 a nivel global (OECD, 2014), incluidas las administraciones públicas: agencias espaciales, departamentos espaciales en organizaciones civiles y de defensa; la industria de fabricación espacial: construcción de cohetes, satélites, sistemas terrestres; proveedores directos de componentes a esta industria y también, al sector de servicios espaciales, principalmente telecomunicaciones comerciales por satélite¹.

En 2018, los ingresos comerciales generados por la economía espacial ascendieron a US\$385 mil millones (OECD, 2019), estimando que para 2040 ese monto se eleve US\$1,5 billones² (Stanley, 2019). La cadena de suministro de fabricación espacial, desde el ensamblaje de sistemas completos de naves espaciales hasta componentes, representa alrededor del 33% de la economía espacial, es decir, US\$127 mil millones a nivel mundial. Los servicios de los operadores satelitales representan el 8,4% de la economía espacial, unos US\$32 mil millones; es decir, ingresos por telecomunicaciones: servicios satelitales fijos y móviles, servicios de radio satelital y operadores comerciales de teledetección. Finalmente, los servicios al consumidor, que incluyen proveedores de servicios de televisión satelital directamente al hogar, equipos de consumo de satélite y servicios de valor agregado y, proveedores de terminales de muy pequeña apertura, por ejemplo, manejo de datos, banca, representan el 58% de la economía espacial, que equivale aproximadamente a US\$223 mil millones (OECD, 2019).

Las inversiones públicas representan en la actualidad la mayor parte de la financiación de las actividades espaciales, alcanzando casi US\$75 mil millones en 2017, en comparación con un estimado de US\$52 mil millones en 2008 (OECD, 2019). Los gobiernos invierten en capacidades espaciales para apoyar, entre otras actividades, la seguridad nacional, mapear y monitorear recursos desde el espacio y, el desarrollo de capacidades científicas. Los Estados con programas espaciales han pasado de ser un club muy exclusivo que dependía de sus fuertes industrias aeroespaciales y de

1. Pero estas estimaciones no tienen en cuenta las universidades e instituciones de investigación, que también desempeñan un papel clave en I+D como receptores de contratos públicos e iniciadores de gran parte de la innovación del sector espacial.

2. Eso equivaldría a aproximadamente el 5% del PIB de Estados Unidos. Esta estimación se basa en una tasa de crecimiento del 6% anual, y existen varias razones que respaldan la propuesta de que las tasas de crecimiento actuales pueden mantenerse. Por ejemplo, la inversión privada total está creciendo a un ritmo sorprendente; entre 2000 a 2005, la industria recibió más de US\$1 mil millones en inversiones de capital privado, capital de riesgo, adquisiciones, premios y subvenciones, y ofertas públicas. Para el período 2012-2017, la industria había recibido más de US\$10 mil millones (Higginbotham, 2018).

defensa, a un grupo mucho más amplio de Estados desarrollados y en desarrollo, con capacidades muy diversas. En solo una década, el número de Estados con un satélite en órbita ha aumentado de 50 en 2008, a 82 en 2018 (OECD, 2019). Los satélites son, por supuesto, muy diferentes en sus especificidades y pueden involucrar muy poca experiencia técnica nacional; van desde grandes satélites de telecomunicaciones comprados en el mercado internacional, a nanosatélites construidos en universidades locales; pero la posibilidad de tener un satélite en órbita nunca había sido tan asequible (OCDE, 2016).

En menos de 12 años, 20 nuevos actores estatales también han comenzado a invertir en programas espaciales propios y a apoyar esfuerzos privados, con proyectos distintivos y simbólicos; por ejemplo, Emiratos Árabes Unidos está financiando una misión planificada a Marte, Nueva Zelanda construyó un exitoso lanzador³, Luxemburgo viene desarrollando un programa de minería de asteroides, e Israel lanzó una misión lunar. Por supuesto, la mayoría de estos programas no comienzan desde cero, como es el caso de Luxemburgo, que ha sido miembro de la Agencia Espacial Europea (ESA) desde 2005, y es el hogar del segundo operador comercial de comunicaciones satelitales más grande, *Société Européenne des Satellites* (SES Global). El Reino Unido también ha modificado recientemente su marco regulatorio para actividades espaciales comerciales, con la Ley de Industria Espacial de 2018, permitiendo que se inicien pequeñas actividades satelitales y suborbitales directamente desde su territorio. Igualmente, se está produciendo un rápido desarrollo en regiones como África, donde muchos países están desarrollando sus propios programas espaciales. El continente ahora cuenta alrededor de 14 agencias espaciales, la mitad de las cuales se establecieron después de 2010; Argelia, Angola, Egipto, Ghana, Kenia, Marruecos, Nigeria y Sudáfrica⁴, han registrado satélites en órbita, a menudo adquiridos en el mercado internacional, la mayoría lanzados en los últimos diez años.

Aunque generalmente se concuerda con que el espacio ultraterrestre debe usarse en beneficio de toda la humanidad, solo un puñado de Estados tendría la base tecnológica suficiente para acceder a él. Como habrá de suponerse, diferentes países tienen distintas capacidades espaciales; entre éstas, las misiones tripuladas autónomas tendrían el mayor riesgo y requerirían la más alta tecnología (Leloglou y Kocaoglan, 2008).

3. Nueva Zelanda es un actor nuevo y dinámico en el sector espacial. Es sede de la primera instalación de lanzamiento orbital totalmente privada del mundo y está comprometida a facilitar el desarrollo de un ecosistema espacial local dedicado al lanzamiento de satélites pequeños, así como la fabricación de alta tecnología, análisis e integración de datos, desarrollo de aplicaciones y estaciones terrestres.

4. Según la OECD (2019), en términos de financiación institucional, Nigeria y Sudáfrica tienen los mayores presupuestos espaciales de África, estimados en 2017 en unos US\$29 millones para la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espacial de Nigeria (NASRDA), y US\$23 millones para la Agencia Espacial de Sudáfrica (SANSA).

Solo Estados Unidos, la Federación Rusa y la República Popular China han probado esta tecnología. Sin embargo, cuando se trata de lanzar satélites al espacio exterior, se amplía el abanico de actores estatales y no estatales; incluso, el número de Estados que pueden construir satélites es aún mayor. Por esto, Leloglu y Kocaoglan (2008) proponen que, según el nivel de tecnología espacial que tengan los Estados, éstos podrían clasificarse en una pirámide en la cual el número de Estados se reduce a medida que se avanza en la escala tecnológica (figura 1).



Figura 1. Pirámide de la tecnología espacial
Fuente: Leloglu y Kocaoglan (2008)

Esta pirámide es una representación unidimensional de tecnologías espaciales complejas y multidimensionales; sin embargo, este eje puede interpretarse como el componente principal. De acuerdo con Leloglu y Kocaoglan (2008), aunque muchos Estados intentan escalar, la base de la pirámide es muy amplia y cualquier mejora en este uso desigual del espacio exterior tendrá un gran impacto en la calidad de vida de las sociedades y en el desarrollo científico. En este punto, Leloglu y Kocaoglan (2008) proponen dos preguntas importantes que merecen considerarse: primera, ¿deberían los países en desarrollo establecer sus propias industrias espaciales? y, segunda, ¿es realmente factible? Un argumento que suele escucharse es que ya hay suficientes satélites de observación y comunicación de la Tierra, y que las compañías fabricantes están compitiendo agresivamente por el mercado. En estas circunstancias, no sería

factible establecer una mayor capacidad tecnológica en términos espaciales, por lo que los países en desarrollo deberían centrarse en los servicios terrestres y el uso efectivo de los datos de teledetección para el desarrollo.

Pero, de acuerdo con Leloglu y Kocaoglan (2008), este argumento no es válido debido a muchas razones: 1) cuando se establece la industria espacial, la mayor parte del presupuesto gastado en sistemas espaciales regresa a la economía nacional y ayuda al desarrollo; 2) ser un centro regional de excelencia o especialización en ciertos subsistemas o servicios puede incluso generar cierta capacidad de exportación; 3) establecer una industria espacial ralentiza la fuga de cerebros, lo cual es un gran problema para los países en desarrollo como Colombia, ya que la mano de obra en la que debe confiar el sistema de innovación se pierde debido a tal fenómeno; 4) la adquisición de sistemas espaciales "llave en mano", hace que los países dependan parcialmente de un determinado fabricante porque el cambio de un sistema espacial genera un costo, y como los sistemas espaciales tienen una vida útil limitada, esta dependencia se refleja en los precios de los sistemas de reemplazo; 5) mediante la expansión tecnológica, se promoverán otras áreas tecnológicas que, a cambio, contribuirán al desarrollo general del país; 6) la mejor manera de promover los servicios terrestres en un país es tener o construir satélites; 7) al contar con un satélite propio, un Estado puede diseñar una misión con una órbita y/o cargas optimizadas para los requisitos del país; 8) tener una industria espacial promueve la educación y la investigación científica; 9) aunque hay bastantes satélites de teledetección con varias resoluciones espectrales y espaciales, aún se necesitan satélites adicionales con cargas útiles similares, porque la Tierra no se puede tomar imágenes con la frecuencia suficiente para todas las aplicaciones; 10) la cooperación internacional y regional, que es imprescindible para desarrollar capacidades espaciales, contribuirá a la paz global y la estabilidad y, 11) los logros en proyectos espaciales tienen un impacto psicológico positivo sobre la sociedad, al incrementar la autoconfianza nacional y el interés de los jóvenes por la ciencia y la tecnología espaciales.

No obstante, Estados Unidos continúa siendo la mayor potencia espacial y posee aún el programa espacial gubernamental más grande del mundo; en 2017, destinó aproximadamente US\$48 mil millones a actividades espaciales (OECD, 2019), financiando programas y acciones espaciales civiles y militares implementados por múltiples departamentos y agencias gubernamentales. Otros países han desarrollado programas espaciales avanzados, con una amplia cartera de actividades, también después de décadas de inversión en niveles mucho más bajos que los de Estados Unidos; por ejemplo, Francia, Alemania, Italia y Canadá. Paralelamente a los programas

nacionales, la Agencia Espacial Europea (ESA) es un excelente ejemplo de cómo los países de esta región han trabajado juntos para construir capacidad industrial y crear cadenas de valor regionales para sus industrias espaciales nacionales.

Existen tres intereses generales que impulsan la generación de ingresos comerciales en el sector espacial en todos sus segmentos, y probablemente continuarán haciéndolo durante la próxima década: 1) intereses de seguridad nacional; 2) científicos y de exploración espacial y, 3) de expansión de aplicaciones espaciales (OCDE, 2016). La preeminencia de los objetivos de los gobiernos, desde la defensa hasta la exploración espacial, sigue siendo un factor clave en la mayoría de los programas espaciales del presente y lo seguirá siendo en el futuro previsible (Hertzfeld, 2009). Los presupuestos institucionales están financiando, a través de esquemas de adquisición y mecanismos de subvención, la mayoría de las actividades espaciales comerciales en todo el mundo. Además, en muchos países, las administraciones públicas desempeñan un papel importante no solo en la administración y coordinación de las actividades espaciales, sino también en la promoción de la investigación y el desarrollo. Históricamente, y aún hoy, las agencias nacionales, los centros de investigación, las universidades y los laboratorios (como instalaciones de prueba), realizan investigación fundamental y aplicada, así como desarrollo experimental en el sector espacial; estas labores de investigación, bajo control gubernamental, tienen impactos importantes sobre el empleo y las capacidades de innovación pública para el sector espacial.

Y, no son una situación exclusiva del sector espacial, ya que las principales actividades de infraestructura y transporte dependen directa e indirectamente de inversiones públicas sostenidas. Pero muchos de estos esquemas de financiamiento en el sector espacial apuntan a mantener los mercados cautivos por parte de los gobiernos, reservados con prioridad para las industrias nacionales. Esto es particularmente cierto para los programas espaciales militares (Hertzfeld, 2009); por ejemplo, los fabricantes y proveedores de lanzamiento espacial en Estados Unidos se han beneficiado de importantes programas del Departamento de Defensa, como lo ilustra el reciente contrato por US\$8 mil millones para la actualización de la constelación GPS, otorgado a Lockheed Martin. Finalmente, el papel del financiamiento inicial y sostenido del gobierno será esencial para el desarrollo de la economía espacial cislunar (Wingo, 2009); esto incluiría vuelos espaciales comerciales a las órbitas terrestres o más allá y el desarrollo de la minería espacial, entre otras actividades. En el centro de estas misiones, que son posibles gracias a los avances tecnológicos, los actores privados ciertamente jugarán un factor determinante, pero con el apoyo financiero de los Estados.

3.1 Impacto socioeconómico de la economía espacial

Para comprender cómo la investigación, la generación de conocimiento y desarrollos espaciales contribuyen en el mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos, es necesario mirar al pasado y descubrir cómo han contribuido los Estados, a través de sus programas espaciales, a resolver necesidades reales en la Tierra. Las tecnologías espaciales presentan un gran rango de aplicación, debido a la integridad de la exploración espacial; esto permite que se encuentren aplicaciones meteorológicas, de geolocalización, físicas, biomédicas, biológicas, de comunicaciones y materiales, entre otras. Las tecnologías espaciales no solo se derivan de los programas espaciales, sino también del sector privado y de las diferentes líneas de I+D de un gran número de universidades, las cuales en algunos casos llegan a crear *spin-off* derivadas de sus líneas de trabajo más fuertes.

Una gran cantidad de aplicaciones provienen de Estados Unidos y Rusia, pioneros de la exploración espacial desde los tiempos de la Guerra Fría. Cabe anotar que la gran mayoría de los primeros desarrollos fueron utilizados en la exploración espacial y luego se aplicaron en la Tierra para resolver necesidades de la sociedad. Sin embargo, y más allá de las consideraciones político-estratégicas, el impacto de la carrera espacial de la Guerra Fría para las economías estadounidense y soviética fue significativo; por ejemplo, el programa de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA) con las misiones *Apolo*, si bien costó US\$110 mil millones, generó más de 400.000 nuevos empleos en su momento (Bockel, 2018). Además, el programa espacial estadounidense de las décadas de 1950, 1960 y 1970, ayudó a la creación de redes comerciales y la aparición de nuevas compañías dedicadas a la comercialización de tecnologías emergentes, muchas de las cuales se han ligado a la revolución digital, generando una aplicación dual de materiales avanzados, piezas electrónicas y sistemas computarizados (Johnson, 2017). Por ende, y pese a los costos en los inicios de la exploración espacial, los programas espaciales muestran al mundo nuevos beneficios estratégicos y económicos. Es por ello que el espacio exterior se mantiene, con el paso del tiempo, como una frontera crítica para la competencia estratégica y económica entre los Estados, permitiendo así el continuo desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones (Bockel, 2018).

A pesar de los enormes desafíos que enfrenta el mundo en desarrollo, las oportunidades importantes y sin explotar, terminarían surgiendo de los avances en tecnología, ciencia e innovación. La relevancia y la aceptación de muchas aplicaciones espaciales

en los países en desarrollo han ido en aumento, gracias a la posibilidad de acceder a muchas de estas tecnologías. Y en este sentido, cada vez existen más pruebas del papel que pueden desempeñar las tecnologías satelitales para apoyar los objetivos de desarrollo socioeconómico de los Estados; por ejemplo, la observación de la Tierra (información geoespacial, imágenes satelitales, teledetección), telecomunicaciones satelitales y banda ancha, así como las tecnologías de navegación y posicionamiento global, encuentran muchas aplicaciones específicas para el desarrollo.

Particularmente, y en aquellos países que como Colombia aún contienen espacios vacíos rurales y urbanos (Álvarez, 2017), caracterizados por una escasa densidad de población y/o una deficiente comunicación, los datos satelitales pueden mejorar la implementación de una amplia gama de políticas de desarrollo a nivel local, regional y nacional. Éstos incluyen la provisión de servicios públicos y estrategias de inversión, así como políticas de descentralización. Pueden apoyar en el establecimiento de diversas infraestructuras críticas (agua, carreteras, transporte, telecomunicaciones), o contribuir a la gestión de los recursos naturales y abordar los problemas ambientales, como la prevención y respuesta al riesgo de desastres naturales⁵.

Los satélites también son muy útiles en el caso de conflictos que imposibilitan el acceso a regiones enteras durante largos periodos de tiempo (Johnson, 2017). Incluso, los datos satelitales juegan un papel cada vez más importante para establecer información catastral y mapas de aglomeraciones urbanas en el caso de una urbanización compleja.

También, en la mayoría de los Estados en desarrollo con un programa espacial y actores privados operativos en el sector, se han lanzado proyectos específicos de asistencia técnica que promueven el desarrollo socioeconómico, mediante aplicaciones destinadas a mejorar la cobertura del sistema médico en áreas remotas, prevenir la difusión de enfermedades, impartir clases y capacitación a través de canales de teleeducación. El sistema nacional de salud representa un sector crucial para las economías en desarrollo, y el uso de tecnologías satelitales específicas se ha demostrado a lo largo de los años para enfrentar desafíos específicos; éstos incluyen llegar a las poblaciones que viven en áreas remotas para brindarles servicios médicos básicos, consultas y compartir los datos de los pacientes con especialistas⁶. De manera similar

5. Los recursos naturales y la gestión del uso del suelo son dos áreas particularmente adecuadas para la aplicación de la observación satelital de la Tierra; los diferentes tipos de imágenes satelitales integradas con otras fuentes de datos se usan comúnmente para informar mejor los procesos de toma de decisiones y de gestión de desastres, monitoreo de la cobertura del suelo y del cambio en su uso, así como del agua, y controlar la utilización de los recursos para promover la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible.

6. La epidemiología es otro campo prometedor que utiliza imágenes satelitales para rastrear la difusión de enfermedades e insectos portadores de las mismas como, por ejemplo, la malaria.

a la telemedicina, la educación también se beneficia de la conectividad satelital como un medio para llegar a las poblaciones que viven en áreas remotas gracias a la teleeducación; en algunos países, los centros de aprendizaje móviles y las escuelas están cada vez más equipados con estaciones terrestres, que transmiten vía satélite diferentes tipos de servicios de aprendizaje, incluidos clases, cursos, ejercicios interactivos y capacitaciones.

3.2 Transferencia de la tecnología espacial

El proceso a través del cual una tecnología originada en un sector encuentra una aplicación en otro, llama "transferencia de tecnología". De acuerdo con Roessner (2000, p. 15), el término indica un "movimiento de conocimientos técnicos, habilidades, procedimientos, métodos, experiencia o tecnología, de un entorno organizacional a otro". Pues bien, las transferencias de tecnología y su comercialización contribuyen a fomentar un desarrollo socioeconómico más amplio, en particular gracias a su impacto en la innovación en diferentes sectores, actuando como un canal estratégico para estimular y desencadenar la creación de innovación a través de colaboraciones industriales y transacciones de tecnología entre varios actores (OCDE, 2016). Lo hacen principalmente al inducir beneficios económicos directos para la industria, como el de aumentar la productividad y el número de empleos. Se pueden encontrar casos de uso exitosos en áreas como salud, transporte, bienes de consumo, control de calidad del aire y seguridad pública, solo por nombrar algunos.

Un ejemplo ha sido la transferencia de tecnología producida por el programa del transbordador espacial de la NASA; inicialmente concebido para usos solo dentro del sector espacial, el transbordador espacial ha producido muchos beneficios y al menos siete áreas se han visto afectadas: salud y medicina, transporte, seguridad pública, bienes de consumo, gestión ambiental, tecnología informática y productividad industrial (Lockney, 2010). En efecto, los estudios sobre la estructura aerodinámica del transbordador espacial en la década de 1970 inspiraron un nuevo diseño para camiones capaces de reducir la resistencia aerodinámica y aumentar la eficiencia a través de una mayor autonomía del combustible. Así mismo, las tecnologías de video-vigilancia utilizadas para mejorar la calidad del lanzamiento del transbordador espacial se han explotado en sistemas de estabilización de imagen ampliamente utilizados en el sector defensa (Lockney, 2010). Además, las cámaras infrarrojas utilizadas en el transbordador espacial ahora se adoptan para buscar incendios, así como para visión nocturna, sistemas de alerta temprana, navegación y monitoreo del clima, entre otros aspectos.

En este orden de ideas, la NASA ha documentado casi 2.000 productos y servicios comerciales desarrollados con éxito entre 1976 y 2018. La mayoría de ellos se han registrado en los sectores de fabricación y productos de consumo, con un promedio de 18 productos por año durante los 41 años analizados por la NASA. Otros sectores socioeconómicos relevantes de aplicación son: transporte y la seguridad pública (nueve por año), gestión del medio ambiente y los recursos (ocho), salud y la medicina (siete) y tecnología informática (seis).

Por tanto, en términos de desarrollo tecnológico, la exploración espacial ha traído consigo un gran número de desarrollos significativos, muchos de los cuales han sido patentados; patentar en el sector espacial no es tan común como en otros sectores, ya que la discreción comercial y la confidencialidad institucional a menudo siguen siendo prioridades para algunos sistemas espaciales. No obstante, el número de patentes relacionadas con el espacio se ha cuadruplicado en 20 años, como lo revelan las solicitudes presentadas en virtud del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT). Así, el número de patentes por grandes agencias da un perfil general de este aporte; es de resaltar, que muchas de estas patentes finalmente son comercializadas, dándoles un uso dual.

En el caso de NASA (figura 2), se encontró que, a 2019, la agencia espacial estadounidense presentaba un total de 2.275 patentes, de las cuales la mayoría correspondían al desarrollo de sistemas eléctricos y electrónicos, materiales y estructuras inteligentes, sistemas para procesamiento de datos digitales, dispositivos biomédicos, aeronaves, cementos, baterías, investigación en enzimas, compuestos para preservación de microorganismos, ingeniería genética, sistemas de radionavegación, energéticos y para producción de calor, sustancias orgánicas e inorgánicas, sistemas para la medición de variables físicas, de comunicación por imágenes, de propulsión y componentes electrónicos.

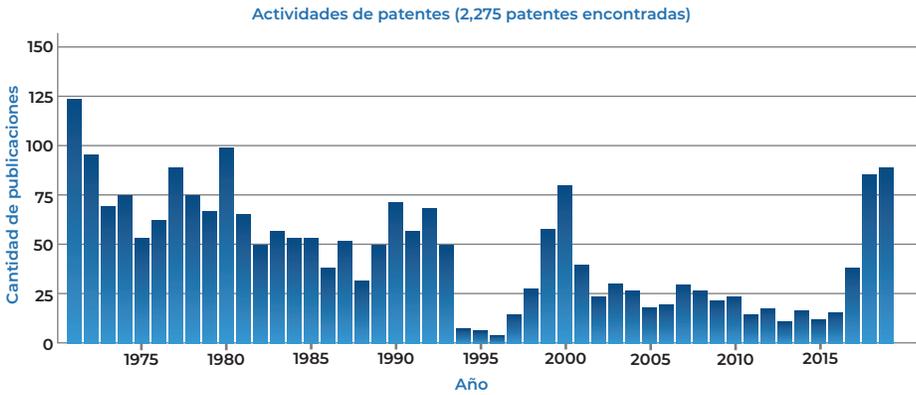


Figura 2. Número de patentes derivadas de desarrollos de la NASA
Fuente: IHS Markit®, licencia FAC

En el caso de la *European Space Agency* (ESA), se encontró que, al año 2019, ésta contaba con 285 patentes (figura 3). Las áreas que han realizado I+D comprenden tecnologías para navegación, para determinar distancia o velocidad por análisis de ondas, tecnologías de transmisión de información digital, telegráfica, comunicaciones, tecnologías de antenas, tecnologías de medición nuclear, tecnologías cosmonáuticas y vehículos espaciales.

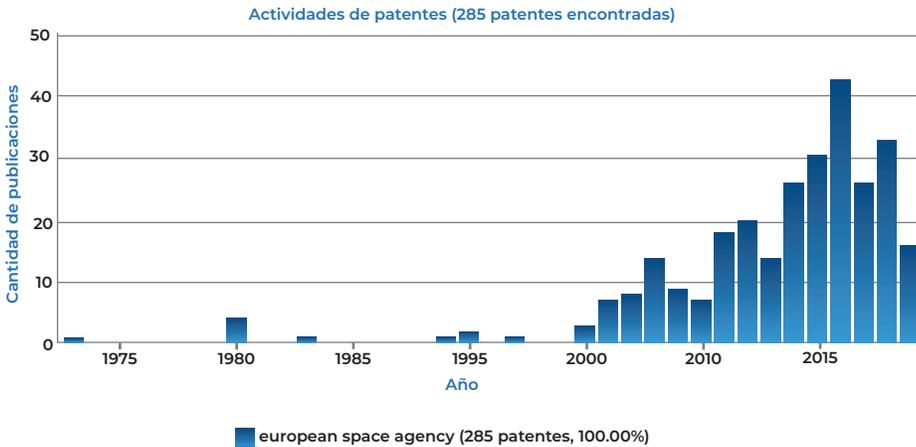


Figura 3. Número de patentes derivadas de desarrollos de la ESA
Fuente: IHS Markit®, licencia FAC

Por su parte, la *Canadian Space Agency* (CSA) cuenta actualmente con 136 patentes en las áreas de conocimiento relacionadas con las tecnologías para determinar distan-

cia o velocidad por análisis de ondas, generación y procesamiento de datos de imágenes, tecnologías de comunicación, cosmonáuticas, de vehículos espaciales y para procesamiento de datos digitales (figura 4).

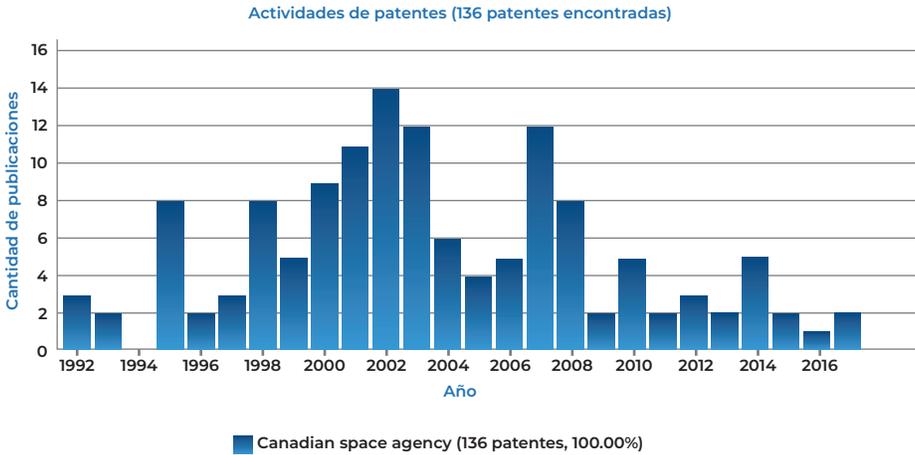


Figura 4. Número de patentes derivadas de desarrollos de la CSA
 Fuente: IHS Markit®, licencia FAC

Para la *China National Space Administration* (CNSA), se encontraron 508 patentes en generación y procesamiento de datos de imágenes, tecnologías de comunicación, de antenas, para procesamiento de datos digitales, investigación en análisis de propiedades químicas y físicas de materiales, así como procesamiento y generación de imágenes (figura 5).

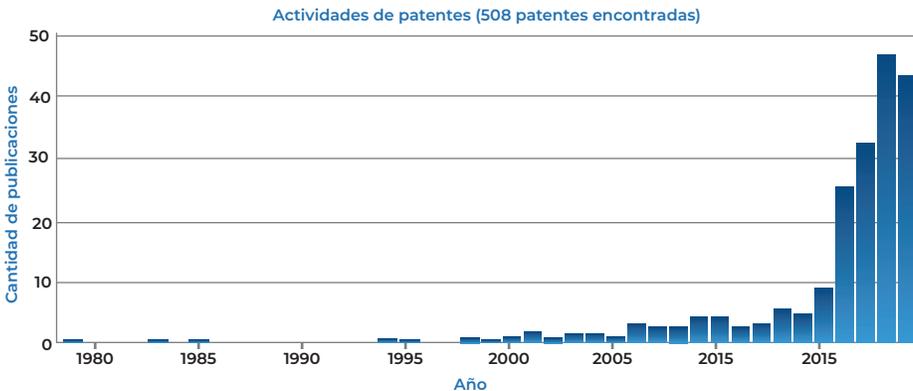


Figura 5. Número de patentes derivadas de desarrollos de la CNSA
 Fuente: IHS Markit®, licencia FAC

El Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (CNES) cuenta con un total de 694 patentes en las áreas de tecnologías cosmonáuticas y vehículos espaciales, tecnologías para determinar distancia o velocidad por análisis de ondas, de antenas, de transmisión de información digital, y telegrafía y comunicaciones (figura 6).

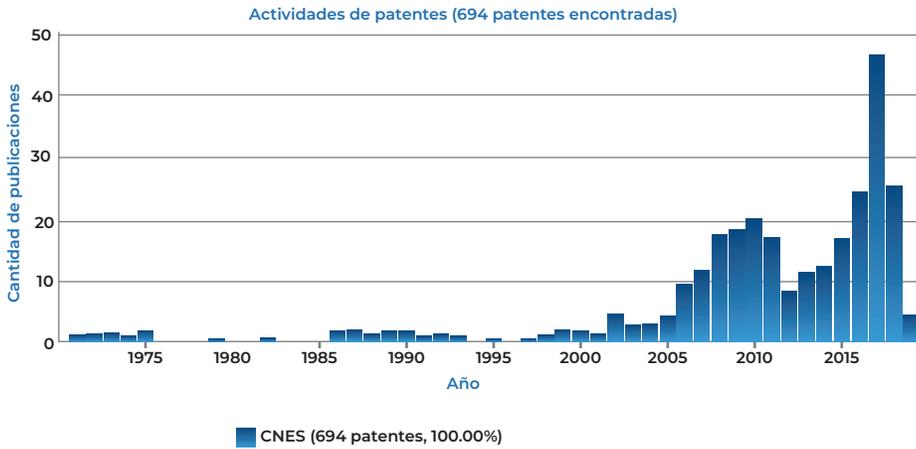


Figura 6. Número de patentes derivadas de desarrollos del CNES
Fuente: IHS Markit®, licencia FAC

Al comparar las solicitudes de patentes nacionales para tecnologías relacionadas con el espacio exterior entre 2010 a 2015, Estados Unidos siguió liderando, pero su participación se ha reducido; varios países han visto crecer su aportación a las patentes mundiales en términos relativos, en particular Francia, Corea, Alemania, China e Italia. Cuando se examinan las patentes relacionadas con el espacio exterior a escala regional, la mayor proporción se puede encontrar en algunas regiones seleccionadas, donde se ubican importantes grupos de la industria espacial; alrededor del 16% de las patentes espaciales mundiales se produce en California (Estados Unidos), el sur de Kanto (Japón), y el 6% en Midi-Pyrénées (Francia). Otras regiones con tasas relativamente altas de patentes relacionadas con el espacio exterior incluyen a Ile (Francia), Guangdong (China) y Seoul (Corea del Sur); Shenzhen, en la provincia de Guangdong, se considera el Silicon Valley chino, ya que alberga muchas compañías tecnológicas, incluidas empresas públicas que desarrollan satélites y aplicaciones espaciales (OECD, 2019).

La innovación espacial puede ser examinada a través de las patentes o mediante las publicaciones científicas revisadas por pares. Con relación a las publicaciones científicas, éstas transmiten los resultados de la investigación de científicos de todo el mundo y proporcionan una indicación de la producción de conocimiento en el sector espacial. Los artículos científicos sobre actividades espaciales se han publicado en revistas especializadas desde fines de la década de 1950, pero siguieron siendo competencia de unos pocos expertos durante casi 30 años; no obstante, la multiplicación de revistas especializadas y conferencias internacionales desde la década de 1990 ha impactado fuertemente la difusión de publicaciones sobre ciencias, tecnologías y aplicaciones espaciales.

Esta tendencia es paralela al creciente número de países involucrados en programas espaciales, especialmente Brasil, la Federación de Rusia, India, Indonesia, China y Sudáfrica (BRIICS). Empero, los Estados que tienen programas espaciales de larga data siguen liderando en términos de publicaciones científicas en literatura espacial, aunque están surgiendo nuevos países. En tal sentido, Estados Unidos tiene la mayor proporción de publicaciones, representando alrededor del 22% del total; por su parte, la producción científica china aumentó 10 veces entre 2000 y 2016, convirtiéndose en uno de los principales contribuyentes a nivel mundial, lo que refleja el creciente interés en el sector espacial en China (OECD, 2019).

4. Actores de la astroeconomía: las empresas del “nuevo espacio”

Las fuentes privadas de inversión para proyectos espaciales son difíciles de rastrear; sin embargo, la evidencia actual muestra inversiones sin precedentes de fondos de capital de riesgo y de capital riesgo en empresas espaciales y recientemente establecidas, aunque las cantidades aún son escasas en comparación con la financiación pública. Las principales fuentes de financiación para las nuevas empresas suelen ser los fondos propios del fundador, con inversiones de círculos familiares, préstamos bancarios, capital social (incluidos los inversores informales y capitalistas de riesgo) y el apoyo del gobierno. Una fuente relativamente nueva de capital privado proviene de grandes empresas aeroespaciales y de defensa, que han establecido sus propios fondos de capital de riesgo en los últimos cinco años, para invertir en nuevas empresas involucradas en el desarrollo de *software*, inteligencia artificial, realidad aumentada, sensores y vehículos autónomos. Algunos de los actores más activos incluyen, por ejemplo, HorizonX Ventures de Boeing, Lockheed Martin Ventures, Airbus Ventures, Thales Corporate Ventures y Dassault System Venture Fund⁷.

7. En el sector espacial, las inversiones de capital inicial representaron US\$3 mil millones en 2018; Space Angels (2019) estima

La industria aeroespacial y otras más, han estado involucradas en la industria espacial desde el comienzo de la era espacial, inicialmente como contratistas de programas gubernamentales. Sin embargo, la industria espacial comercial no surgió en su forma actual hasta la década de 1980. La creciente demanda de comunicaciones satelitales, particularmente la transmisión de televisión, proporcionó nuevos negocios para los fabricantes de satélites y condujo a la creación de compañías dedicadas a proveer servicios satelitales; al mismo tiempo, los cambios en la política espacial nacional de Estados Unidos a raíz del accidente del transbordador espacial *Challenger*, así como del surgimiento de la competencia del vehículo de lanzamiento europeo Ariane, estimularon el desarrollo de una industria de lanzamiento comercial en ese país.

La industria espacial comercial continuó creciendo durante la década de 1990, en parte debido a la creciente demanda de servicios de radiodifusión y otras comunicaciones, pero también porque las empresas buscaron expandirse a otras áreas, desde comunicaciones móviles hasta servicios remotos de detección. Este crecimiento, impulsado por miles de millones de dólares de inversión en nuevas empresas como Globalstar, Iridium y Teledesic, creó pronósticos optimistas para una expansión continua en la próxima década, conduciendo a la inversión en nuevas empresas de lanzamiento comercial, incluidas compañías que planeaban desarrollar productos reutilizables que reducirían en gran medida el costo del acceso al espacio. Sin embargo, para el año 2000, muchas de estas nuevas empresas estaban tratando de sobrevivir; por ejemplo, las compañías de comunicaciones tenían dificultades para competir con alternativas terrestres de bajo costo (fibra óptica), lo que disuadía la creación de nuevas empresas y provocaba un efecto dominó que reducía la demanda de servicios de lanzamiento y fabricación de satélites. A pesar de esto, los empresarios continúan explorando nuevos mercados espaciales comerciales, con el turismo espacial suborbital y orbital, como una de las principales áreas de interés.

Es en este contexto en el que se propiciarían las inversiones de multimillonarios en numerosas empresas espaciales, sobre todo en los últimos cinco años (tabla 1). La mayoría de las compañías espaciales recientes tienen fondos privados; por ejemplo, SpaceX y Blue Origin y, no cotizan en bolsa. Aunque hay pocos datos públicos disponibles, su capitalización se considera importante en vista de sus grandes proyectos en curso (lanzadores, módulos de exploración espacial) y contratos comerciales, particularmente con el gobierno de Estados Unidos.

que el total invertido en 2018 representó alrededor del 16% de todo el capital social invertido en compañías espaciales desde 2009. En China, casi 100 de las nuevas empresas espaciales se han inaugurado desde 2015, siguiendo una nueva política nacional para fomentar la comercialización espacial; en 2018, unas 30 nuevas empresas chinas involucradas en cohetes, fabricación de satélites y aplicaciones, recaudaron aproximadamente US\$310 millones en capital de riesgo (OECD, 2019). Al incluir las empresas espaciales que cotizan en bolsa, la inversión privada total ascendió a US\$530 millones en este país.

Tabla 1.
Billonarios que invierten en compañías espaciales

Billonario	Compañía	Inversión espacial	Actividad
Bill Gates	Microsoft	Kymeta	Datos
Jeff Bezos	Amazon	Blue Origin	Lanzamientos
Mark Zuckerberg	Facebook	SETI	Datos
Larry Page	Google	Planetary Resources	Minería recursos
Sergey Brin	Google	SpaceX	Lanzamientos/datos
Li Ka Shing	CK Hutchinson	Windward	Minería recursos
Ma Huateng	Tencent	Moon Express	Lanzamientos
Sheldon Adelson	Las Vegas Sands	Spacell	Lanzamientos
Paul Allen	Microsoft	Stratolaunch	Lanzamientos
Elon Musk	Tesla	SpaceX	Lanzamientos/datos
Eric Schmidt	Google	Planetary Resources	Minería recursos
Ricardo Salinas	Grupo Elektra	OneWeb	Datos
Richard Branson	Virgin Group	Virgin Galactic	Lanzamientos
Lynn Schusterman	Samson Investment	Spacell	Lanzamientos
Yuri Milner	DTS Global	Planet	Datos
Marc Benoiff	Sales Force	Taranis	Datos

| Fuente: elaboración propia

Las empresas que se han dado a conocer como actores del “nuevo espacio”, son aquellas financiadas en gran medida por personas que operan con su propio dinero y están tan dispuestas, y son capaces, de asumir riesgos (Dudley y Gangale, 2012). El empresario sudafricano y cofundador de PayPal, Elon Musk, creó Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX), y el fundador de Amazon, Jeff Bezos, inició Blue Origin, ambas compañías de lanzamiento del “nuevo espacio”. Es importante reconocer que existe una gran diferencia entre las compañías aeroespaciales comerciales como Boeing y Lockheed, y las que se consideran parte del “nuevo espacio”, porque, aunque ambas son de propiedad privada, operan bajo premisas muy diferentes. Por ejemplo, Boeing, Lockheed y Northrop son “comerciales” en el sentido de que cotizan en bolsa, deben responder a los accionistas y esperan obtener ganancias. Sin em-

bargo, todos viven, principalmente, en un entorno espacial dominado por las reglas del gobierno: la adquisición federal, contratación por negociación, y proyectos clasificados. Como resultado, estas organizaciones están estructuradas para responder a los complejos proyectos de defensa, requiriendo una estructura compleja y costosa, y una gran sobrecarga de humanos talentosos para cumplir con los requisitos estatales (Johnson, 2017).

Las empresas “nuevo espacio” no están estructuradas de la misma manera. Tienden a ser financiadas por capitalistas de riesgo, y la mayoría tiene un único producto o solución que intentan vender en el mercado comercial. No dependen del gobierno de Estados Unidos para su supervivencia, aunque algunas lo tienen como su principal cliente. No utilizan sistemas de contabilidad que cumplan con las normas y regulaciones gubernamentales, y la mayoría no tiene, o no puede obtener, las autorizaciones de las instalaciones, por lo que hay una posibilidad limitada de realizar trabajos clasificados. Además, la mayoría de las compañías del “nuevo espacio” no cuentan con el personal legal necesario para combatir las interminables batallas de protestas contractuales que inevitablemente resultan de las grandes adquisiciones de defensa.

Ahora bien, SpaceX se fundó en 2002 para revolucionar la tecnología espacial, con el objetivo final de permitir que las personas vivan en otros planetas, centrándose en el desarrollo de una familia de lanzadores. En menos de 20 años, SpaceX ha establecido varios hitos espaciales para una empresa privada: en diciembre de 2010, se convirtió en la primera compañía privada en devolver una nave espacial a la Tierra, después de completar casi dos órbitas. Luego, en mayo de 2012, su nave espacial *Dragon* se acopló a la Estación Espacial Internacional (ISS) y regresó a salvo a la Tierra. Esa hazaña técnicamente desafiante, había sido realizada anteriormente solo por gobiernos, por lo cual SpaceX demostró efectivamente que el espacio exterior ya no era solo un dominio de los Estados nacionales (Lothian y Block, 2018).

El 21 de diciembre de 2015, el cohete *Falcon 9* llevó 11 satélites de comunicaciones a órbita, y luego regresó y aterrizó su primera etapa en su *Zona de aterrizaje 1*, el primer aterrizaje de cohetes de clase orbital. Posteriormente, en abril de 2016, y después de varias fallas anteriores, un cohete *Falcon 9* entregó su carga útil a la EEL, y luego regresó y aterrizó en una plataforma en el mar. SpaceX es una de varias compañías privadas que algún día podría enviar humanos al espacio; con el último vuelo del transbordador espacial de la NASA en julio de 2011, Estados Unidos perdió su capacidad de vuelo espacial humano, y Estados Unidos se volvió dependiente de Rusia para llevar astronautas y suministros a la EEL, una situación incómoda para el gobierno es-

tadounidense (Lothian y Block, 2018). En consecuencia, la NASA aceleró planes con el sector privado para desarrollar capacidades de transporte humano, en el cual, el sector privado debía asumir la responsabilidad de las actividades de órbita terrestre baja (LEO), para que los fondos de la NASA pudieran usarse para los esfuerzos del espacio cislunar y el espacio solar (Lothian y Block, 2018).

Sin embargo, SpaceX no es la única compañía privada con una propensión para la toma de riesgos en el desarrollo de nuevos vehículos de lanzamiento espacial. Sir Richard Branson, el empresario británico detrás de Virgin Atlantic Airlines, también lidera Virgin Galactic, que se autodenomina como la primera línea espacial comercial del mundo. El plan Virgin Galactic para abrir espacio a un grupo más amplio de individuos, que los seleccionados por los gobiernos para viajes espaciales, ha involucrado dos aviones. El primero, llamado *WhiteKnightTwo*, es un avión pilotado de doble casco que se asemeja a un catamarán y está diseñado para grandes altitudes; se utiliza para levantar la segunda nave, que está tripulada por dos pilotos y lleva seis pasajeros. A una altitud de aproximadamente 50.000 pies, *WhiteKnightTwo* deja caer la nave más pequeña, que dispara un cohete que la envía al borde de la atmósfera. Los pasajeros experimentarían cuatro minutos de ingravidez antes de que la nave espacial vuelva a entrar en la atmósfera (Cohen, 2017).

El primer modelo de embarcaciones de transporte de pasajeros de Virgin se llama *SpaceShipTwo*; la primera nave sufrió un accidente catastrófico durante un vuelo de prueba el 31 de octubre de 2014. *SpaceShipTwo* utiliza un sistema inusual de cola emplumada para cambiar la posición de una fase de vuelo a la siguiente, y la nave puede regresar a la Tierra y aterrizar como planeador. El día del accidente, el piloto Peter Siebold alcanzó una velocidad de Mach 0.8, momento en el cual el copiloto Michael Alsbury movió una manija que controlaba el mecanismo de plumas desde el bloqueo hasta el desbloqueo, aunque eso no debería haberse hecho hasta que la nave espacial lograra una velocidad de Mach 1.4. Sin embargo, Alsbury no activó el sistema de plumas; en consecuencia, la carga aerodinámica superó a los actuadores que lo mantenían en su lugar, forzándolo a abrirse. Por consiguiente, *SpaceShipTwo* se fracturó en vuelo, matando a Alsbury e hiriendo gravemente a Siebold (Lothian y Block, 2018). Después del accidente, Branson decidió que la compañía seguiría adelante; el vuelo espacial es inherentemente temerario, pero el progreso siempre implica asumir riesgos. En efecto, la NASA tuvo que cancelar el programa del transbordador espacial después de dos accidentes catastróficos, por la presión de que dicho programa era alimentado con fondos de los contribuyentes; sin embargo, las empresas privadas del "nuevo espacio" utilizan sus propios fondos. Por tanto, en febrero de 2016, Virgin

Galactic presentó un modelo de reemplazo denominado *Virgin Spaceship Unity* (VSS), nombrado así por el físico Stephen Hawking.

Aunque Virgin Galactic es reticente respecto a fechas específicas en que los turistas espaciales puedan aspirar a un viaje, más de 700 personas se han inscrito para obtener un boleto, incluidas celebridades como Ashton Kutcher, Katy Perry, Leonardo DiCaprio y Kate Winslet, que pagaron US\$250 mil por adelantado por un asiento (Cohen, 2017). Aunque se ha implementado un nuevo sistema que evitaría que vuelva a ocurrir un accidente como el de 2014, el enfoque de Virgin Galactic depende de los pilotos, y en el nuevo grupo de pilotos de prueba está Kelly Latimer, quien anteriormente tenía la distinción de ser la primera mujer piloto de pruebas de la NASA.

Los desafíos que enfrenta Virgin Galactic son técnicos y económicos, y típicos de las empresas del "nuevo espacio". Más allá del desarrollo de un vehículo operativo, la compañía también debe capacitar a sus pilotos para que vuelen el vehículo, tanto en condiciones suborbitales, como a nivel del mar, lo cual no es una tarea intrascendente. Pero también debe comenzar a volar clientes y continuar volando a un ritmo bastante rápido para ganar el dinero necesario para continuar la investigación y el desarrollo, ya que no puede gastar el dinero de depósito de los pasajeros. En consecuencia, la presión sobre estas empresas y la necesidad de ser innovadores pueden llegar a ser intensas.

No hay escasez de enfoques y objetivos para las empresas del "nuevo espacio". La nave espacial Lynx de XCOR, es otra apuesta en el mercado suborbital, con la intención de llevar a un astronauta piloto, un participante y cargas científicas al límite del espacio exterior. *New Shepard*, una nave competidora que está siendo construida por la empresa Blue Origin de Jeff Bezos, apunta al mercado del turismo espacial; en este sentido, Blue Origin completó con éxito su tercer vuelo de prueba (sin tripulación), en abril de 2016.

Pero las compañías del "nuevo espacio" fuera de los Estados Unidos también están involucradas en el desarrollo de sistemas de lanzamiento innovadores. Éstas incluyen a Zero2infinity, una compañía de globos de alta altitud con sede en España, que tiene como objetivo entregar pequeños satélites a LEO, utilizando una combinación de un globo y un cohete; el vehículo, llamado *Bloostar*, tuvo su primera misión orbital a finales de 2018. Por su parte, Rocket Lab, una empresa estadounidense-neozelandesa, está desarrollando el pequeño vehículo de lanzamiento *Electron*, y comenzó lanzamientos en 2016 desde la Isla Norte de Nueva Zelanda; Rocket Lab ha enfatizado la tecnología avanzada utilizada en el desarrollo del motor. Sus elementos están im-

presos en 3-D, y el motor utiliza motores eléctricos para alimentar sus turbomotores (Lothian y Block, 2018).

Una empresa privada rusa llamada CosmoCourse, está construyendo también una nave espacial capaz de vuelos de turismo espacial suborbital; los desarrolladores, muchos de ellos exempleados del Centro Espacial de Investigación y Producción del Estado de Khrunichev, dicen que la nave estaría lista para 2020. Anteriormente, la actividad del turismo espacial ruso se había limitado en gran medida a aceptar clientes pagos como visitantes de la EEI, transportados en la nave espacial *Soyuz*, a través de la empresa privada estadounidense Space Adventures (Cohen, 2017).

Otro nuevo actor, Orbital ATK, está invirtiendo su propio capital en el desarrollo de una nave espacial de servicio satelital que sea capaz de repostar y realizar reparaciones menores en satélites geosíncronos; inicialmente, la nave espacial *Orbital* se acoplará mecánicamente con una nave espacial GEO y se hará cargo de la orientación, navegación y control (ONC) para apuntar, mantener la estación y el transporte orbital (como ajustar la inclinación y la ubicación de la órbita o pasar a la órbita de eliminación); por esa razón, se llama *Mission Extension Vehicle* (MEV). Solo después, asumirá tareas que incluyen reabastecimiento de combustible, reparación y capacidades de mejora de misión; Orbital está invirtiendo fuertemente en esas tecnologías, pero también está trabajando en transferencias de tecnología con la NASA.

En el sector espacial, se puede observar cómo cada vez más existen diferentes empresas de carácter privado que no solo desarrollan tecnologías de forma independiente, sino también trabajan de manera conjunta con diferentes agencias espaciales para optimizar recursos. Estas empresas se enfocan en pocas líneas de investigación y desarrollo, lo que les permite posicionarse como proveedores en diferentes campos tales como propulsión, plataformas de lanzamiento, facilidades para entrenamiento y simulación de misiones, desarrollo de equipos de protección, escape y supervivencia (Lothian y Block, 2018). Sin embargo, en la nueva dinámica de la exploración espacial se observa cómo las compañías privadas han empezado a ir más allá de ser contratistas de las grandes agencias, para convertirse en protagonistas con programas espaciales comerciales (Bockel, 2018).

Por último, Bigelow Aerospace, fundada por Robert Bigelow, el propietario multimillonario de la cadena de hoteles Budget Suites of America de Estados Unidos, es otro de los muchos actores del "nuevo espacio". Bigelow diseña y construye hábitats espaciales expandibles, modulares y presurizados. Por ejemplo, el hábitat llamado B330, puede ser desplegado por múltiples vehículos de lanzamiento; en efecto, una

cápsula SpaceX *Dragon* transportada en un cohete *Falcon 9* entregó un hábitat expandible Bigelow a la EEI, en abril de 2016 para su prueba. Adicionalmente, Bigelow tiene la intención de operar puestos de avanzada orbitales de vuelo libre para clientes que pagan, incluidos los turistas; sin embargo, en última instancia, el objetivo es desplegar estos hábitats portátiles en la Luna a partir de 2025. Con ese fin, Bigelow buscó y recibió en 2015 la garantía de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA) de que podría realizar actividades comerciales en la superficie lunar sin interferencia; ese permiso fue precursor de nuevas acciones estadounidenses para alentar el desarrollo comercial del espacio ultraterrestre (Lothian y Block, 2018). El entonces presidente Barack Obama firmó en 2015 la Ley de Competitividad de Lanzamiento Espacial Comercial de los Estados Unidos (Ley Espacial de Estados Unidos). Una de las disposiciones clave contenida en la Ley Espacial protege los vuelos espaciales privados de la supervisión reguladora durante al menos los próximos ocho años. Otro aspecto clave de la Ley del Espacio se ocupó de lo que Bigelow mencionó como ayuda en el descubrimiento de recursos beneficiosos: la minería espacial.

4.1 La minería espacial

Las empresas estadounidenses han tomado la delantera en el campo de la minería espacial. Planetary Resources, Deep Space Industries y Shackleton Energy han expresado no solo su interés, sino su intención de liderar el camino en diversas actividades de extracción (James, 2018). Planetary Resources es una compañía minera de asteroides con sede en Washington; su nave espacial *Arkyd 3 Reflight* (A3R), se lanzó desde la EEI en julio de 2015, para probar la tecnología de exploración y búsqueda de asteroides, en previsión de la minería de asteroides. Deep Space Industries también tiene la intención de minar el espacio exterior, comenzando con la prospección. Shackleton Energy está adoptando un enfoque diferente, centrado en extraer agua de la Luna, convertirla en combustible para cohetes y crear estaciones de combustible en el espacio ultraterrestre, creando así una industria multimillonaria (Badescu, 2013). Claramente, estas compañías apuntan a ganar dinero, y eso significa que todas las bases legales para reclamar derechos sobre el agua y los minerales, como el platino, el paladio, el osmio y el iridio, deben estar garantizados (James, 2018).

La sección de la Ley Espacial de Estados Unidos del 2015, centrada en la minería de asteroides, reconoció los derechos de los ciudadanos estadounidenses a poseer los recursos que obtengan a través de la minería de asteroides. Aparentemente, esta disposición iría en flagrante contravía del Tratado del Espacio Exterior de 1967, que declara que éste debería ser la herencia común de la humanidad, para ser utilizado con fines

pacíficos, y en interés de todas las naciones, limitando la soberanía del Estado (Jakhu y Buzdugan, 2008). Pues bien, las empresas comerciales del espacio exterior quieren tanta certeza en la regulación como sea posible para tranquilizar a los inversores, y necesitarían que esas reglas sean relativamente entendidas y estables a través de un ciclo económico. Haciendo referencia a la Ley del Espacio de 2015, quienes apoyan la legislación de los Estados Unidos no consideran que la propiedad de los recursos recuperados y extraídos sea una declaración de soberanía, ya que eso sería una violación del Tratado del Espacio Exterior de 1967; la posición oficial parece ser que la propiedad de los Estados Unidos y otra jurisprudencia legal deberían corresponder al bien de todos, y dado que las empresas estadounidenses estarían llevando a cabo actividades de extracción primero, establecer buenos precedentes legales es la mejor manera de hacerlo. Según esa opinión, si China o Rusia decidieran continuar con la extracción y pudieran hacerlo con éxito, eso sería aceptable para los Estados Unidos.

Sin embargo, como se supondrá, ha habido una gran cantidad de puntos de vista sobre la legalidad de la minería espacial en general, y la Ley Espacial de los Estados Unidos en particular; por ejemplo, otros en la comunidad internacional tienen la opinión de que la Ley Espacial potencialmente viola el Tratado del Espacio Exterior (Dawson, 2018). Sin embargo, otros países también están interesados en la minería de asteroides y en la legislación para proteger los intereses de los inversores, como es el caso del Ministerio de Economía de Luxemburgo, que anunció que este pequeño Estado explorará la minería de asteroides como un sector clave de alta tecnología, y tratará de convertirse en el centro de los esfuerzos espaciales comerciales europeos (Doboš, 2019). Además, el director general de la Agencia Espacial de los Emiratos Árabes Unidos (EAU), anunció en marzo de 2016, que los EAU estaban redactando una ley similar a la Ley Espacial de los Estados Unidos, que abarca la exploración espacial humana y las actividades comerciales, incluida la minería (Dawson, 2018).

Si bien este tipo de actividad internacional crea competencia económica y a veces política, también estimula el desarrollo. Las proyecciones de ganancias en billones de dólares han estimulado este interés público y privado en la minería de asteroides, aunque las cifras son solo hasta el momento proyecciones (James, 2018). El platino vale alrededor de US\$ 28.000 dólares por kilo; por ende, la extracción de los primeros metros de un asteroide de un tamaño modesto de medio kilómetro de diámetro, podría producir alrededor de 130 toneladas de platino, con un valor aproximado de US\$3.600 millones; el asteroide Ryugu contiene toneladas de níquel, hierro, cobalto y agua, por un valor estimado de US\$95 mil millones (Klinger, 2017). Esta nueva y potencial "fiebre del oro" podría llegar a desencadenar una guerra astroeconómica

de importantes proporciones. Ciertamente, Estados Unidos podría ir a la guerra, si Rusia o China reclamaran la Luna, o incluso parte de ella, o de cualquier otro cuerpo celeste. Pero permitir la reclamación de soberanía de un cuerpo celeste, en parte o en su totalidad, no es lo que hace la legislación estadounidense de 2015; ésta solo cubre la extracción (Klinger, 2017). Queda por ver si esa situación conducirá a otra versión de la “guerra de las galaxias”, impulsada monetariamente, o si es otra en una larga lista de actividades espaciales que inherentemente exige una acción internacional cooperativa.

Sin embargo, debe suponerse que las mismas reglas son válidas en el espacio exterior como en términos terrestres; condiciones ambientales que promueven o disuaden el desarrollo: que a menos que una empresa se beneficie específicamente del conflicto, el conflicto cinético no es un buen augurio para las oportunidades de desarrollo económico. También se debe tener en cuenta que nada de lo que se está discutiendo para el desarrollo comercial en el espacio exterior es tan potencialmente valioso como lo es la propiedad inmobiliaria en órbita geosíncrona y, aunque no sin problemas, los usuarios están haciendo que eso funcione relativamente bien, ya que la estabilidad en el espacio ultraterrestre es importante para que estas empresas del sector privado sobrevivan y prosperen (Doboš, 2019).

4.2 Desechos espaciales

Los desechos o basura espacial son definidos como cualquier objeto artificial, incluyendo fragmentos o elementos presentes en la órbita de la Tierra o reentrando a la atmósfera, los cuales no están en funcionamiento (International Association of Drilling Contractors -IADC, 2002). En la actualidad, la basura espacial sigue siendo un problema en ascenso, debido a la presencia de satélites inactivos y diversos tipos de residuos derivados de la exploración espacial. El problema no solo radica en la contaminación de la órbita, sino también en el constante choque de algunos residuos contra equipos que se encuentran en operación, generando grandes pérdidas económicas y aún más, los peligros relacionados con la actividad extra vehicular de los astronautas que puede inclusive afectar su supervivencia, por el riesgo de que un residuo choque con su traje presurizado.

Un ejemplo del problema de la basura espacial se observa con el choque en 2009 de un satélite de la compañía Iridium, contra un satélite inactivo ruso *Cosmos 2251*, lo que creó miles de nuevas piezas con potencial riesgo para la operación espacial. Así mismo, cada día la operación de satélites ha obligado a tener un monitoreo continuo

y de mayor precisión de la basura espacial, para ejecutar maniobras que permitan esquivar el potencial daño (Witze, 2018). El problema radica en el creciente número de objetos lanzados al espacio exterior, sin que muchos de ellos hayan sido regresados a la Tierra para realizar su respectiva destrucción y/o reciclaje. En solo 2017, se lanzaron un poco más de 400 satélites de compañías privadas, militares y civiles, cuatro veces más que el promedio registrado entre 2000 y 2010 (Witze, 2018).

Para hacer frente al creciente número de basura espacial, se creó en 1993 el Comité Interagencial de Cooperación para Residuos Espaciales (IADC), en el cual participan ESA (Europa), NASA (Estados Unidos), JAXA (Japón), ROSCOSMOS (Rusia), ASI (Italia) CNES (Francia), CNSA (China), CSA (Canadá), DLR (Alemania), KARI (Sur Corea), ISRO (India), NSAU (Ucrania) y UKSA (Reino Unido). Este comité fue fundado para permitir un intercambio técnico y coordinaciones para el manejo de la basura espacial (Agencia Espacial Europea -ESA-, 2019). Las medidas para mitigar este tipo de crecimiento de desechos espaciales se enmarcan en cuatro, que son aceptadas internacionalmente (ESA, 2019): 1) limitación de desechos espaciales liberados durante operaciones normales; 2) reducción de rupturas potenciales de elementos en el espacio; 3) disposición pos-misión y, 4) prevención de colisiones en órbita. Para 2018, se observan más de 20.000 objetos en el espacio exterior, y en promedio 11 fragmentaciones no deseadas ocurren en el ambiente espacial cada año; así mismo, en la última década, la carga de lanzamientos ha ido cambiando hacia cargas útiles pequeñas menores a 10 kg de masa en la órbita baja. Se calcula que cerca del 30 al 60% de la masa de cargas útiles en el espacio se acerca al final de su operación en esta década en la órbita baja (ESA, 2019).

En este sentido, un nuevo mercado se ha ido desarrollando en búsqueda de soluciones para los desechos espaciales. Uno de estos campos es el de su monitorización, en el cual, empresas como NorthStar Earth and Space y ComSpOC, utilizan la tecnología satelital para rastrearlos y lanzar alertas sobre posibles colisiones como parte del programa Conciencia Situacional Espacial. Otras empresas y organizaciones, como la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, realizan rastreo desde la Tierra a través de radares y telescopios. Este tipo de servicios puede representar ingresos por más de \$1 trillón de dólares canadienses por año (Loomis, 2015; Morrow, 2019).

Otro campo con potencial económico importante lo constituye los sistemas para la recuperación de la basura espacial. En la actualidad, cerca del 95% de los objetos en el espacio son piezas inactivas; las iniciativas que tratan de poner en órbita de descenso estos objetos se encuentran en desarrollo. Ejemplo de este tipo de sistemas es el

proyecto RemoveDEBRIS, desarrollado por el Centro de Investigaciones Espaciales de la Universidad de Surrey (Reino Unido), el cual busca redireccionar los satélites hacia una órbita que les permita reentrar a la atmósfera (Witze, 2018). Este proyecto ha sido apoyado y cofinanciado por la Comisión Europea y otros inversores como Airbus, ISIS (Países bajos), CSEM (Suiza) y la Universidad de Stellenbosch (Suráfrica). El sistema cuenta con diferentes aplicaciones para la captura de desechos espaciales como redes, arpones y también con un sistema de visualización. En la actualidad, se encuentra realizando pruebas desde la Estación Espacial Internacional y está siendo operado desde Surrey Reino Unido (University of Surrey, 2016; University of Surrey, 2018; Lothian y Block, 2018).

5. Conclusiones

Aunque ningún otro Estado invierte tanto en el espacio como Estados Unidos, la capacidad del gobierno norteamericano para influir en la política espacial global ha disminuido considerablemente con el tiempo. De alguna manera, el espacio exterior se ha convertido en activo mercantil; y debido a su valor estratégico, así como a la gran dependencia de casi todas las industrias a la infraestructura espacial, tiene una importancia especial y se ha convertido en un recurso nacional crítico (Dudley y Gangale, 2012). Los rendimientos de las inversiones en programas espaciales no siempre son evidentes, inmediatos o sostenidos en el tiempo. Pero la evidencia está creciendo sobre los diversos beneficios que las partes interesadas en los sectores público y privado pueden llegar a obtener en términos de operaciones mejoradas, empleos calificados, así como nuevos productos y servicios nacidos de programas de I+D espacial pasados o presentes.

Además, las ganancias de eficiencia y productividad derivadas del uso de aplicaciones espaciales también se están volviendo más visibles en sectores muy diversos de la economía y la sociedad; desde la agricultura hasta la energía, desde la vigilancia hasta las transacciones financieras, los actores institucionales y las empresas privadas utilizan cada vez más datos y señales satelitales. Los satélites también juegan un papel clave en proporcionar infraestructura de comunicaciones instantáneas a regiones que carecen de instalaciones terrestres, contribuyendo a vincular áreas rurales y aisladas con centros urbanizados. Aunque el desarrollo de programas espaciales, en principio, requiere de grandes inversiones de capital, es claro que el retorno de éstas es mucho mayor de las tradicionales y, en algunos casos, exponencial. Los países que han apostado por el desarrollo de programas espaciales, han logrado un retorno de inversión en el corto, mediano y largo plazo, a través de la integración de diferentes

actores pertenecientes a la triada universidad, empresa privada y Estado, los cuales cuentan adicionalmente con capital de riesgo para invertir en apuestas en el campo espacial e inclusive apoyar nuevos emprendimientos.

Mirar hacia el crecimiento futuro de las compañías espaciales comerciales y los aspectos multinacionales del espacio comercial, plantea una pregunta interesante con respecto al poder espacial de los países. Específicamente, ¿será posible que los intereses comerciales reemplacen a otros intereses nacionales en el espacio exterior? La respuesta corta es no.

Además del claro uso dual de todos los productos espaciales, el derecho internacional del espacio, tal como se define en los tratados actuales de las Naciones Unidas sobre el espacio ultraterrestre, hace a los Estados responsables de las acciones de sus ciudadanos en el espacio ultraterrestre. Para llegar al espacio exterior y hacer cualquier cosa allí, una empresa necesitará la aprobación formal de un Estado matriz. Dado que cada Estado puede ser responsable de manera conjunta y separada de ciertos tipos de daños causados por objetos espaciales, será difícil, si no imposible, que una empresa opere en el espacio exterior sin supervisión. Por tanto, a menos que los principios legales de la actividad espacial cambien, los intereses comerciales estarán subordinados a los intereses nacionales en el espacio y se enfrentarán a controles regulatorios importantes.

Hoy, el espacio es una oportunidad económica, así como una curiosidad intelectual y espiritual. Aquellos que de jóvenes se entusiasmaban por los lanzamientos de cohetes y las caminatas lunares, se han convertido en líderes mundiales en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, produciendo bienes y servicios de alto valor agregado e intensivos en conocimiento, comercializados en una cadena de suministro global.

Diariamente, la economía espacial global proporciona datos e información esenciales para todos y cada uno de los colombianos(as); desde Internet y banca personal, hasta el sistema de navegación que usan aviones, barcos, autos o teléfonos. El espacio exterior también es responsable de la información necesaria que permite el monitoreo del clima, la planificación y gestión de emergencias y, sirve como base para la formación de nuevas generaciones de investigadores, científicos y matemáticos, que han permitido que las economías y sociedades alcancen un mayor progreso tecnológico y niveles de vida más altos.

La economía espacial mundial es considerable y está creciendo. Durante gran parte de su historia, el sector espacial había sido típicamente una industria liderada, finan-

ciada y administrada por el gobierno; las agencias espaciales internacionales habían dominado la agenda e impulsado la estrategia y el establecimiento de objetivos, ya que los altos costos y riesgos asociados con la antigua industria espacial requerían una considerable participación del gobierno. Pero esto está cambiando; la reciente tendencia hacia la descentralización de la actividad fuera del gobierno y hacia el sector privado, ha estimulado el crecimiento de los componentes comerciales de la cadena de suministro espacial, por lo que la actual economía espacial se caracteriza por un número cada vez mayor de organizaciones privadas e inversores, que trabajan junto con las agencias espaciales para lograr los objetivos de la agenda espacial de sus respectivos Estados.

Esto ha abierto oportunidades para que países como Colombia participen y se beneficien de la economía espacial, por lo que la nueva agenda nacional es clara: Colombia puede y debe desempeñar un papel en el crecimiento de la economía espacial mundial. Este valor deriva de la importancia inherente del espacio como sector económico, pero lo que es más importante, los efectos secundarios de la tecnología relacionada con el espacio en otros sectores clave de la economía. Con probada experiencia en áreas de nicho de la cadena de suministro global, la industria colombiana tiene la capacidad de capitalizar este potencial de crecimiento. El pequeño tamaño de la actual industria espacial colombiana es en realidad una fortaleza, porque invita a que todas las organizaciones de la economía espacial colombiana colaboren activamente entre sí, creando capacidad de investigación especializada para apoyar a las organizaciones comerciales. Esto presenta una oportunidad única para que Colombia desarrolle un ecosistema espacial, donde el Estado, las universidades y las empresas privadas, establezcan un enfoque coordinado para competir en la cadena de suministro global de la industria espacial.

Sin embargo, esta es una industria donde las conexiones y la reputación importan, y donde surgen ventajas competitivas arraigadas como resultado de décadas de inversión en capacidad especializada; no es una industria que se pueda construir de la noche a la mañana. El Estado colombiano y el sector privado están obligados a tomar decisiones inmediatas que permitan crear las condiciones para el fomento de una industria espacial colombiana madura, por lo cual la pregunta que surge es: ¿qué decisiones se deben tomar hoy para asegurar que estas oportunidades y ambiciones se realicen en beneficio de Colombia? Con fuertes perspectivas de crecimiento global, un enfoque nacional renovado a partir del actual gobierno y una industria local ambiciosa, la economía espacial es un área que requiere comprensión, pero desafortunadamente no existe ni siquiera una base de información en Colombia que dé cuenta

de cuál es el grado de dependencia de la economía colombiana de las actividades basadas en el espacio exterior, y, por tanto, de cuánto aporta la economía espacial al conjunto del PIB nacional.

Colombia, al participar del proceso de globalización económica, se ha vuelto dependiente de las actividades espaciales comerciales, y junto con la dependencia viene la vulnerabilidad, sobre todo si los productos o servicios espaciales que se requieren son proveídos por Estados o empresas privadas extranjeras. Por ende, además de ser económicamente importantes, las actividades espaciales comerciales son vitales para la seguridad multidimensional de Colombia, principalmente por tres razones: 1) proporcionan productos y servicios al Ministerio de Defensa y a los recursos de inteligencia del Estado colombiano; 2) las telecomunicaciones por satélite apoyan actividades vitales para la economía nacional, como el transporte y la banca colombiana y, 3) los satélites comerciales son esenciales para el comercio diario.

Referencias

- Agencia Espacial Europea -ESA- (2019). *ESA's Annual Space Environment Report*. Obtenido de <https://bit.ly/2LFgLxs>
- Álvarez, C. (2017). Ocupación de los espacios vacíos: una condición *sine qua non* para la seguridad multidimensional en Colombia. En Álvarez, C. (Ed.). *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá: Esdegue, pp. 307-386.
- Álvarez, C. y Zambrano J. (2017). Globalización desviada: plataforma de convergencia criminal. En Álvarez, C. (Ed.). *Escenarios y desafíos de la seguridad multidimensional en Colombia*. Bogotá: Esdegue, pp. 249-306.
- Badescu, V. (2013). *Asteroids: Prospective Energy and Material Resources*. Berlín: Springer.
- Bockel, J. (2018). *The Future of the Space Industry*. París: NATO Parliamentary Assembly.
- Cohen, E. (2017). The Paradoxes of Space Tourism. *Tourism Recreation Research*, 42(1), 22-31.
- Dawson, L. (2018). *War in Space: The Science and Technology Behind Our Next Theater of Conflict*. Washington: Springer Praxis Books.
- Doboš, B. (2019). *Geopolitics of the Outer Space: A European Perspective*. Prague: Springer.
- Dudley, M. y Gangale, T. (2012). Forecasting the Political Economy of the Inner Solar System. *Astropolitics*, 10(3), 183-233.

- Hertzfeld, H. (2009). Commercial Space and Spacepower. En Lutes, C. y Hays, P. (Eds.). *Toward the Theory of Spacepower: Selected Essays*. Washington: Institute for National Strategic Studies, pp. 83-103.
- Higginbotham, B. (2018). *The Space Economy: An Industry Takes Off*. Washington: U.S. Chamber of Commerce.
- International Association of Drilling Contractors -IADC- (2002). *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*. Space Debris Mitigation Guidelines. IADC.
- Jakhu, R. y Buzdugan, M. (2008), Development of the Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies: Economic and Legal Aspects. *Astropolitics*, 6(3), 201-250.
- James, T. (2018). *Deep Space Commodities: Exploration, Production and Trading*. Gewerbestrasse: Plagrove MacMillan.
- Johnson, J. (2017). *Space Warfare in the 21st Century: Arming the Heavens*. New York: Routledge.
- Klinger, M. (2017). *Rare Earth Frontiers: From Terrestrial Subsoils to Lunar Landscapes*. Ithaca: Cornell University Press.
- Leloglu, U. y Kocaoglan, E. (2008). Establishing Space Industry in Developing Countries: *Opportunities and Difficulties*. *Advances in Space Research*, 42(11), 1879-1886.
- Lockney, D. (2010). *NASA's Space Shuttle: Perspectives on Technology Transfer*. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Loomis, I. (2015). Private firms spy a market in spotting space junk. *Nature*. Obtenido de <https://go.nature.com/2lqkHlO>
- Lothian, P. y Block, W. (2018). *Space Capitalism: How Humans Will Colonize Planets, Moons, and Asteroids*. Gewerbestrasse: Plagrove MacMillan.
- Morrow, A. (2019). *Why tracking space junk is big business*. Rfi Economy. Obtenido de <https://bit.ly/335KOWX>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OECD- (2014). *The Space Economy at a Glance 2014*. París: OECD Publishing.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OECD- (2016). *Space and Innovation*. París: OECD Publishing.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OECD- (2019). *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*. París: OECD Publishing.
- Roesner, J. (2000). Technology Transfer. En Hill, C. (Dd.). *Science and Technology Policy in the US: A Time of Change*. London: Longman, pp. 13-42.
- Space Angels (2019). *Space Investment Quarterly: Q4 2018*. Obtenido de <https://bit.ly/30QMW3g>

- Stanley, M. (2019). *Space: Investing in the Final Frontier*. Obtenido de: <https://mgstn.ly/2H10yEq>
- University of Surrey (2016). *Removedebris*. Obtenido de <https://bit.ly/2z2HrWE>
- University of Surrey (2018). *RemoveDEBRIS completes reconnaissance and navigation test*. Obtenido de <https://bit.ly/2CRQyK0>
- Weinzierl, M. (2018). Space: The Final Economic Frontier. *Journal of Economic Perspectives*, 32(2) 173-192.
- Wingo, D. (2009). Economic Development of the Solar System: The Heart of a 21st Century Spacepower Theory. En Lutes, C. y Hays, P. (Eds.). *Toward the Theory of Space Power: Selected essays*. Washington: Institute for National Strategic Studies, pp. 150-174.
- Witze, A. (2018). The quest to conquer the space junk problem. *Nature*, 561(7721), 24-26.

Autores

Carlos Enrique Álvarez Calderón

Politólogo con Maestrías en Relaciones Internacionales de la Universidad Javeriana y Coaching Ontológico Empresarial en la Universidad San Sebastián de Santiago de Chile (Chile). Becario Center for Hemispheric Defense Studies "William Perry" en Washington. Profesor Investigador, Jefe de línea de Investigación y Editor de la Revista "Ensayos sobre Defensa y Seguridad" de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". Docente de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval", Escuela de Inteligencia Aérea de la Fuerza Aérea Colombiana, Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova" y Universidad Militar Nueva Granada. Asesor del Comando de Apoyo de Combate de Inteligencia Militar (CAIMI) del Ejército de Colombia. Ha editado y publicado varios libros, capítulos y artículos sobre temas de Estrategia, Seguridad y Defensa, Geopolítica e Inteligencia Estratégica.

BG. Eliot Gerardo Benavides González

Brigadier General de la Fuerza Aérea Colombiana, Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez", con Maestría en Seguridad y Defensa de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" y Maestría en Análisis de Problemas Políticos, Económicos e Internacionales Contemporáneos de la Universidad Externado de Colombia. Jefe de la Jefatura de Educación Aeronáutica de la Fuerza Aérea Colombiana. Investigador del grupo de Investigación de Ciencia y Poder Aéreo (CIPAER). Docente investigador de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval".

CR. Carlos Giovanni Corredor Gutiérrez

Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana. Ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana, Especialista en Gerencia de Proyectos de Telecomunicaciones del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Magister en Gerencia de Ingeniería

de la Universidad de la Sabana, Candidato a Magister de Seguridad y Defensa Nacionales en la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". Es miembro de la Academia Internacional de Astronáutica. Actualmente se desempeña como Asesor para Asuntos Espaciales de la Vicepresidencia de la República de Colombia, y entre sus funciones se encuentra la coordinación inter-institucional de los miembros de la Comisión Colombiana del Espacio con el fin de recomendar al Gobierno Nacional mecanismos para la implementación y ejecución de la Política Espacial Nacional

CT. María Alejandra Corzo Zamora

Capitán de la Fuerza Aérea Colombiana. Médico-cirujano de la Universidad Militar Nueva Granada, Magister en Fisiología de la Universidad Nacional de Colombia y Magister en Fisiología Espacial del King's College en Inglaterra. Jefe del Centro de Investigaciones Biomédicas Aeronáuticas y Espaciales de la Fuerza Aérea Colombiana. Líder Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas Espaciales VOYAGER. Investigadora de los grupos Ciencia y Poder Aéreo (CIPAER) y Cultura en Seguridad Operacional (CELISO). Docente e investigadora programa de maestría en Seguridad Operacional de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval". Miembro de la Asociación Colombiana de Fisiología (COLFISIS), Asociación Internacional de Medicina Aeroespacial (ASMA) y del UK Space Environments Association.

MY. Jenny Lorena Hernández Jara

Mayor de la Fuerza Aérea Colombiana. Profesional en Administración Aeronáutica de la Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez". Especialista en Pedagogía y Docencia Universitaria de la Universidad San Buenaventura y Especialista en Derechos Humanos y Derecho Internacional Humanitario de la Universidad Externado de Colombia. Estudiante de la Maestría en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval". Directora del Programa de Maestría en Seguridad Operacional de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

MY. Gerson Ricardo Jaimes Parada

Mayor de la Fuerza Aérea Colombiana. Licenciado en Matemáticas y Computación de la Universidad Francisco de Paula Santander, con Maestría en Innovación de la Escuela de Administración de Negocios (EAN) y candidato PHD en Gestión Tecnológica e Innovación de la Universidad Autónoma de Querétaro. Subdirector de Investigación e

Innovación de la Fuerza Aérea Colombiana. Líder del grupo de Investigación de Gestión tecnológica e Innovación (GICTI). Docente e investigador de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval".

CR. (RA) Álvaro Molano Valbuena

Coronel de la Reserva Activa de la Fuerza Aérea Colombiana. Ingeniero Electrónico, especializado en Ingeniería de Telecomunicaciones con formación en Administración de Empresas Aeroespaciales. En el campo espacial se destaca la formación recibida en comunicaciones satelitales en la Pontificia Universidad Javeriana, en sistemas operativos en tiempo real durante su asignación a la misión Libertad I de la Universidad Sergio Arboleda, en Administración Aeroespacial en la Escuela de Negocios de Toulouse (Francia), en Gestión de la Cadena de Suministros en EADS Astrium Satellites, en el Desarrollo de Programas Satelitales en el Instituto Coreano de Investigación Aeroespacial (KARI).

CR. Santiago Murillo Colmenares

Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana. Administrador Aeronáutico del Instituto Militar Aeronáutico y Administrador de Empresas de la Universidad Militar Nueva Granada. Especialista de Estado Mayor y de Seguridad y Defensa Nacionales de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". Candidato a Magister de Seguridad y Defensa Nacionales en la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". Director de Programación y Presupuestación de la Fuerza Aérea Colombiana.

CR. Ricardo Javier Paredes Muñoz

Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana. Ingeniero Mecánico de la Universidad del Valle, Magíster en Ingeniería de la Universidad del Valle, Docente de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval" e investigador del grupo de Investigación de Gestión tecnológica e Innovación (GICTI) y del grupo de Investigación de Estudios Aeroespaciales (GIEA). Director de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Fuerza Aérea Colombiana.

CR. Robert Santiago Quiroga Cruz

Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana. Piloto y Profesional en Administración Aeronáutica de la Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez". MBA en Negocios

Aeroespaciales de Toulouse Business School. Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales en la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". Programa de Educación Militar Profesional Air Command and Staff College de la Universidad del Aire de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Programa de Desarrollo Directivo de Inalde Business School. Actualmente se desempeña como Jefe de la Oficina de Asuntos Espaciales de la Fuerza Aérea Colombiana, con la responsabilidad principal de dirigir y coordinar las actividades, programas y políticas del desarrollo espacial institucional y sectorial, para promover el desarrollo científico y tecnológico espacial del país. Docente de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana en temas de tecnología y poder espacial.

CR. (RA) Yesid Eduardo Ramírez Pedraza

Coronel de la Reserva Activa del Ejército de Colombia. Profesional en Ciencias Militares de la Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova" y Especialista en Estado Mayor y Seguridad y Defensa Nacionales de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Magister en Seguridad y Defensa del Colegio Interamericano de Seguridad y Defensa en Washington. Director de la Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto". Profesor de la Escuela Superior de Guerra, Escuela de Logística del Ejército y Universidad Militar Nueva Granada.

CT. Jonathan Camilo Urbina Carrero

Capitán de la Fuerza Aérea Colombiana. Ingeniero Mecánico de la Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez" y estudiante de la Maestría en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana "Capitán José Edmundo Sandoval". Especialista Operacional Proyección Talento Humano de Pilotos de la Jefatura de Potencial Humano de la Fuerza Aérea Colombiana. Publicó el artículo "El Espacio Futuro de la Fuerza Aérea Colombiana", en la Revista Ciencia y Poder Aéreo Volumen 12.

CR. Martin Fernando Zorrilla Rodríguez

Coronel de la Fuerza Aérea Colombiana. Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez" e Ingeniero Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, con Maestría en Tecnología Aeroespacial de Purdue University. Subdirector de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. Docente e investiga-

dor de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana en temas de seguridad aérea, logística, tecnología aérea y espacial.

EL ESPACIO EXTERIOR

UNA OPORTUNIDAD INFINITA PARA COLOMBIA

MIRANDO HACIA LAS ESTRELLAS: UNA CONSTANTE NECESIDAD HUMANA

El espacio orbital de la Tierra es una arena crítica para la seguridad multidimensional de Colombia, ya que la sociedad colombiana obtiene una gran cantidad de beneficios económicos, políticos, civiles y militares vitales del espacio exterior. Por lo tanto, ha llegado el momento de abordar el espacio ultraterrestre como un asunto prioritario en el cálculo estratégico en Seguridad y Defensa del Estado colombiano.

Este Obra de dos volúmenes esta orientada a desarrollar una astroestrategia colombiana, centrada en la teoría del poder espacial. Lo logra a través de un proceso deductivo, explorando desde múltiples disciplinas como las teorías en relaciones internacionales, el derecho internacional, la geopolítica clásica, la economía política, los estudios estratégicos y la astrofísica, la posibilidad de plantear un conjunto de principios estratégicos que resumen y describen la naturaleza y las necesidades de la política colombiana en el espacio exterior. Se espera que estos principios resulten útiles en el futuro para los procesos de creación de una agencia espacial colombiana, la formación de una nueva generación de astroestrategas, y el desarrollo de capacidades por parte de la Fuerza Aérea Colombiana para la protección de los presentes y futuros activos de Colombia en el espacio.



Escuela Superior de Guerra
General Rafael Reyes Prisco
Colombia