RedNIE Red Nacional de Investigadores en Economía

# Tendencias en la Economía del Espacio y Potencial Argentino[1]

**Paulo Pascuini** (UBA-CONICET)

**Andrés López** (UBA-CONICET)

DOCUMENTO DE TRABAJO N° 211

Enero de 2023

[1] SERIE DOCUMENTOS DE TRABAJO DEL IIEP Nº70 | MARZO DE 2022

Los documentos de trabajo de la RedNIE se difunden con el propósito de generar comentarios y debate, no habiendo estado sujetos a revisión de pares. Las opiniones expresadas en este trabajo son de los autores y no necesariamente representan las opiniones de la RedNIE o su Comisión Directiva.

The RedNIE working papers are disseminated for the purpose of generating comments and debate, and have not been subjected to peer review. The opinions expressed in this paper are exclusively those of the authors and do not necessarily represent the opinions of the RedNIE or its Board of Directors.

Citar como:
Pascuini, Paulo y Andrés López (2023). Tendencias en la Economía del Espacio y Potencial Argentino. *Documento de trabajo RedNIE N°211*.

Autores

**Pablo Pascuini**
paulopascuini@gmail.com
Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires, Argentina.
CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP). Buenos Aires, Argentina.

**Andrés López**
anlopez1962@gmail.com
Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires, Argentina.
CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP). Buenos Aires, Argentina.

## Tendencias en la economía del espacio y potencial argentino

Economía del espacio
Satélites
Argentina
Innovación
Industria aeroespacial

En los últimos años la actividad espacial ha entrado en una etapa de cambio y avance tecnológico sin precedentes. Esto se ve reflejado en la aparición de un gran número de proyectos innovadores de gran envergadura, pertenecientes tanto a agencias espaciales como a iniciativas privadas, las cuales han aumentado su participación en una industria previamente dominada por los organismos gubernamentales. Dentro de este contexto surge el interrogante respecto a la existencia y posibilidad de inserción de actores argentinos privados en estas nuevas tendencias. Con el objetivo de comenzar a resolver dicho interrogante, el presente trabajo realiza un relevamiento y caracterización general de algunas de las principales nuevas tendencias en la actividad espacial, a la vez que identifica y analiza algunos de los principales proyectos privados argentinos involucrados en dichas tendencias. A partir de este análisis se logra un primer acercamiento a la identificación de las oportunidades y obstáculos existentes para la inserción de actores privados argentinos dentro de esta etapa de cambios en la economía del espacio a nivel global.

## Trends in the space economy and Argentine potential

Space economy
Satellites
Argentina
Innovation
Aerospace industry

In recent years space activity has entered a stage of change and unprecedented technological progress. This is reflected in the emergence of many very ambitious projects run by both space agencies and private initiatives. Moreover, this new stage in charactered by an increasing participation of private initiatives in an industry previously dominated by government agencies. Within this context arises the question regarding the existence and possibility of insertion of private Argentinian actors into these novel tendencies. To provide elements to answer the question, this paper surveys and characterizes some of the main novel tendencies in space activity worldwide and identifies and analyze some of the main private Argentinian projects involved in those tendencies. This analysis is a first approach to the identification of the existing opportunities and obstacles for insertion of Argentinian private actors within this stage of changes in the global space economy.

JEL CODE O3, O31 y O32

Los autores agradecen la valiosa colaboración de Victoria Cambriglia, Marco Di Giacomo y Juan Manuel Rodriguez Repeti. Como es usual, cualquier error u omisión en el texto es responsabilidad de los autores. Asimismo, se agradece la participación del personal entrevistado de Diysatellite, Epic Aesrospace, Innova Space, LIA Aerospace, Skyloom Global, TLON Space, y al personal de la CONAE, ARSAT, la Subsecretaría de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, y empresas pertenecientes a la Cámara Argentina Aeronáutica y Espacial (CArAE) por participar de la encuesta realizada. La información que se utilizó para la confección de este trabajo surge de entrevistas y de fuentes públicas disponibles al 15 de diciembre de 2021.

La investigación que permitió producir este documento contó con el apoyo de la empresa Servicio Satelital SA, la cual ha venido colaborando de modo sostenido con el equipo de trabajo que formó parte de este proyecto a fin de promover la generación de conocimiento sobre el sector espacial argentino.

Tabla de contenido


5 **1** Introducción

8 **2** Tendencias de la actividad espacial

8 **2.1** Misiones tripuladas y turismo espacial

8 Misiones tripuladas

11 Turismo espacial

13 **2.2** Misiones no tripuladas y exploración del espacio

13 Misiones a Marte, Venus y el Sol

15 Desvío de asteroides

15 Telescopios espaciales

16 Interferómetros espaciales

16 Viajes interestelares

17 **2.3** Explotación de recursos naturales en el espacio

17 Agricultura espacial

18 Minería de asteroides

19 **2.4** Contaminación espacial y actividades para su mitigación

21 Remoción de residuos espaciales

22 Servicios en orbita

24 Velas solares

24 **2.5** Constelaciones

24 Telecomunicaciones no GEO

28 Internet of Things

30 Imágenes

32 **2.6** Servicios comerciales de lanzamiento

36 **3** Argentina y las nuevas tendencias

36 **3.1** Proyectos argentinos privados

36 Servicios de lanzamiento

39 Constelaciones satelitales de órbita baja

42 Interconexión satelital láser

43 Servicios en orbita

44 **3.2** Relevamiento de perspectiva para el sector espacial argentino

49 **4** Conclusiones

51 Referencias

54 Anexo – Encuesta nuevas tendencias del sector espacial

# 1 Introducción

Viajes interestelares, minería de asteroides, remoción de escombros en el espacio, *rovers* en Marte y turismo espacial parecerían hasta hace poco parte de la trama de una película de ciencia ficción, pero estas y otra cantidad de actividades asociadas a la llamada "economía del espacio"[1] se están desarrollando actualmente en la práctica y con una creciente participación de la iniciativa privada. El artículo "Space: A Third Great Age of Discovery" caracterizó tres eras de la exploración humana (Pyne, 1988); la circunnavegación del globo, la travesía por los continentes recién descubiertos, y, en tercer lugar, la exploración del océano profundo, de regiones inhóspitas y del espacio. Estamos en esa tercera era, donde en particular la exploración y explotación del espacio destacan tanto por la diversidad y envergadura de los proyectos en marcha, como por sus implicancias en la vida cotidiana en la Tierra. Este documento pretende relevar la diversidad de actividades que caracterizan las nuevas tendencias en la actividad espacial e indagar sobre su potencial interacción tanto con proyectos locales en desarrollo como con las capacidades acumuladas en proyectos previos de la Argentina.

Tras varias décadas desde el lanzamiento del primer satélite de la serie Sputnik de la Unión Soviética (URSS), y de la famosa frase "un pequeño paso para el hombre, un gran paso para la humanidad" de Neil Amstrong, estamos nuevamente frente a un cambio radical[2] en el qué, cómo, dónde y cuándo de la industria espacial. En efecto, nos encontramos en un contexto de avance tecnológico y efervescencia industrial únicamente comparable con las industrias de la inteligencia artificial y computación (Pelton, 2019).

Sin embargo, existen varias diferencias entre lo que sucede actualmente y la carrera espacial entre los Estados Unidos (EE. UU.) y la URSS; una de ellas es el nuevo paradigma de "democratización del espacio" (Baiocchi & Welser IV, 2015) donde la tecnología para acceder al mismo está tanto en manos de algunas agencias espaciales, como de iniciativas privadas con capacidades tecnológicas propias, que incluso son suficientes para enviar civiles al espacio. La acumulación de capacidades por parte de iniciativas privadas ha generado varios nuevos mercados que van adquiriendo un rol cada vez más preponderante en actividades antes dirigidas sólo por agencias espaciales (Weinzierl, 2018). Estas capacidades habilitan a la iniciativa privada a encontrar nichos rentables para su desarrollo tanto en actividades espaciales "hacia el espacio" (*space-for-space industry*), como en actividades espaciales con aplicación en la Tierra (*space-for-Earth*) (Weinzierl & Sarang, 2021).

Es así que se generan mercados donde se comercializan nuevos servicios y productos espaciales, como el turismo espacial o nuevos y más modernos satélites, pero también mercados donde se proveen servicios en la Tierra que devienen de las nuevas actividades y tecnologías espaciales. Algunos ejemplos de estos mercados que intervienen en la vida cotidiana en la Tierra son la prestación en áreas remotas de servicios de Internet satelital diseñados para permitir los usos de Internet of Things (IoT), o la provisión, a partir de nuevas constelaciones de satélites, de servicios de imágenes de alta resolución que permiten desde potenciar la productividad en actividades agrícolas o controlar el avance en las obras de infraestructura en áreas remotas, hasta prevenir o reaccionar tempranamente ante catástrofes humanitarias.

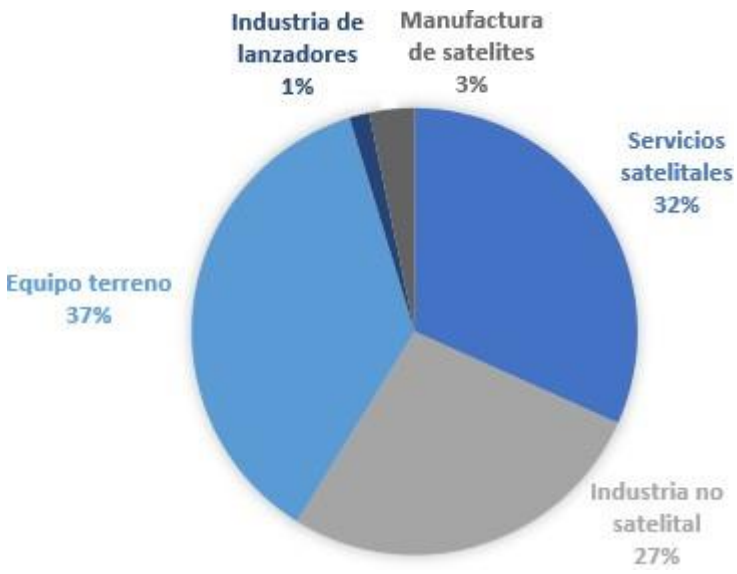
De acuerdo con los reportes anuales de la Satellite Industry Association (SIA) (2015, 2021), los ingresos de la "economía del espacio" (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2012, p. 20) a nivel global crecieron un 15% en seis años, pasando de USD 322,7 mil millones en 2014 a USD 371 mil millones en 2020. Según la consultora que elabora los informes de la SIA (BryceTech), el presupuesto gubernamental espacial global en 2019 fue de USD 95,2 mil millones. En tanto, la industria satelital

[1] La "Economía del Espacio" abarca todas las actividades en torno a la exploración, comprensión, gestión y uso del espacio. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2012, p. 20).

[2] Este cambio radical fue denominado como "Espacio 2.0" por Joseph N. Pelton (2019).

pasó de representar el 63% de la economía del espacio en 2014 al 73% en 2020. Según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD - Organization for Economic Cooperation and Development) (2019) para el año 2018 ya más de 80 países poseían satélites en órbita, y más de 10 habían logrado hacer sus propios lanzamientos. En el Gráfico 1 se puede ver una desagregación del ingreso de la economía del espacio en sus partes componentes, de acuerdo a los datos del reporte anual de la SIA ya mencionado.

**Gráfico 1. Composición de la economía del espacio 2020**

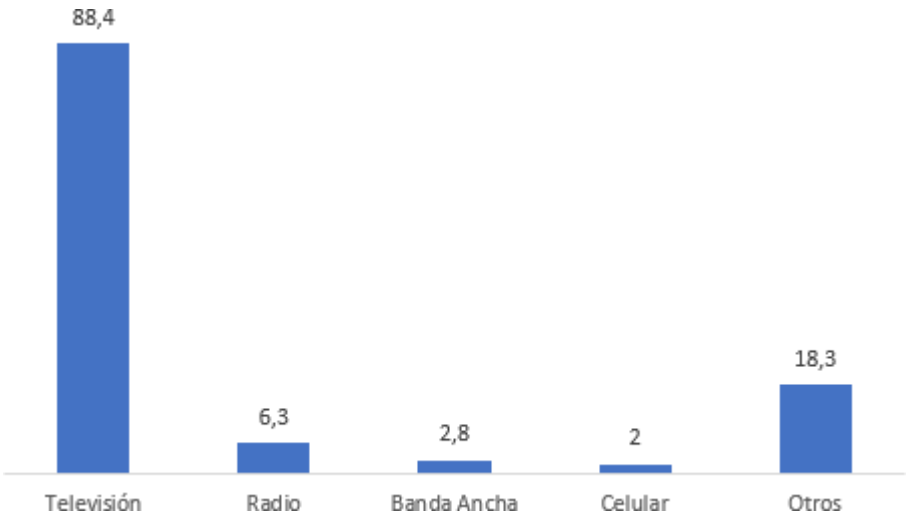



*Fuente: SIA (2021).*

*Nota: Servicios satelitales incluye los servicios de telecomunicación y de imágenes, y en Equipo terreno se incluyen, entre otros, los equipos de GPS y de televisión satelital.*

Observando con más detalle algunos de los segmentos de la economía del espacio, en 2020 se realizaron 94 lanzamientos orbitales comerciales, los cuales generaron ingresos por USD 5,3 mil millones, 40% de los cuales fueron realizados por empresas estadounidenses, y además se colocaron en órbita 1.194 satélites, de los cuales el 84% son satélites comerciales de telecomunicación. La industria de servicios satelitales generó en 2020 ingresos por USD 117,8 mil millones, cuya desagregación se puede observar en el Gráfico 2.

**Gráfico 2. Ingresos generados por la industria de servicios satelitales 2020 (USD miles de millones)**




*Fuente: SIA (2021).*

*Nota: Dentro de otros se incluyen servicios de imágenes y otros servicios de telecomunicación.*

Durante la pandemia de Covid-19 gran cantidad de sectores vieron afectado su funcionamiento y la industria espacial no fue la excepción. Entre muchos elementos que impactaron sobre esta industria estuvieron los lanzamientos pospuestos, los retrasos en las cadenas de suministro, y las limitaciones al financiamiento. Según un informe realizado por la OECD (2020b) sobre los impactos de la pandemia de Covid-19 en la industria espacial, las empresas pequeñas y medianas fueron las más expuestas debido a que la desaceleración en las entregas que debían realizarle a las empresas más grandes y en los pagos de los respectivos contratos les generaron problemas de financiamiento en el corto plazo. A este contexto de incertidumbre se le sumó una reducción en la disponibilidad de capitales para el financiamiento de sus operaciones lo que llevó a que, por ejemplo, operadores satelitales como OneWeb e Intelsat se reorganizaran bajo el Capítulo once de la Ley de Quiebras de EE. UU. En el caso de OneWeb, el impacto de la pandemia de Covid-19 en el mercado financiero limitó el acceso al financiamiento que necesitaba para seguir con el despliegue de una constelación satelital para la provisión de banda ancha, lo que derivó en la participación del Gobierno del Reino Unido en un consorcio que adquirió la empresa; esto implica que hoy el Gobierno del Reino Unido tiene parte del capital de OneWeb. En el caso de Intelsat, uno de los principales operadores de comunicación satelital del mundo, el proceso de quiebra le permitió obtener crédito para continuar con sus operaciones luego de encontrarse al borde del default con una deuda que rondaba los USD 14 mil millones. Tanto en el caso de las empresas nombradas como de muchas otras, probablemente la desaceleración de la actividad y los problemas de financiamiento hayan sido más bien un detonante de una vulnerabilidad preexistente.

Por su parte, las agencias espaciales se vieron afectadas por la reorientación de los presupuestos gubernamentales a aquellos sectores considerados prioritarios en el contexto de la pandemia. Esto afecta a su vez a las pequeñas y medianas empresas que en muchos casos dependen de la ejecución de proyectos impulsados por dichas agencias (L. Scatteia & Y. Perrot, 2020). De aquí emergen riesgos de que a mediano-largo plazo la quiebra de empresas pequeñas y medianas genere un proceso de concentración de mercado debido al alto costo de entrada que caracteriza al sector espacial (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020b).

Cabe resaltar que al tiempo que la pandemia mostró las vulnerabilidades del sector, también sirvió para entender la amplitud de beneficios que trae a la sociedad. Por ejemplo, los satélites de observación y

telecomunicaciones resultaron de utilidad para medir el impacto de los cierres debido al Covid-19 y la recuperación posterior. Asimismo, estos satélites permitieron proveer conectividad a hospitales, residencias, y comercios en zonas remotas, generar soluciones en pos de mantener la escolaridad a distancia, y brindar información a usuarios sobre zonas de alta contagiosidad (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020a; UN, 2020). No solo los servicios brindados por el sector contribuyeron en la pandemia, sino que también sus capacidades tecnológicas y de I+D permitieron producir equipamiento médico, proporcionar capacidad de almacenamiento y modelado de datos y contribuir con otras necesidades de investigación, tales como estudios de impacto (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020a).

Este trabajo tiene como primer objetivo realizar un relevamiento general de las principales tendencias en la actividad espacial a nivel global, caracterizando no solo los aspectos tecnológicos, sino también los antecedentes, proyección e impactos para la economía del espacio. En segundo lugar, se busca identificar la existencia de proyectos privados argentinos que se enmarquen en estas nuevas tendencias, y explorar las oportunidades y desafíos que tiene el ecosistema local para aumentar su participación en las mismas. Para poder atender estos objetivos se relevó la información pública de agencias, organismos, empresas espaciales, y sitios web especializados. También se entrevistó al personal directivo de las empresas argentinas que tienen proyectos en marcha en estas áreas y se realizó una encuesta semiestructurada (ver Anexo - Encuesta nuevas tendencias del sector espacial) a distintos especialistas locales. Vale mencionar que las empresas en esta actividad suelen ser muy discretas respecto a sus proyectos, y una dificultad para este trabajo fue la muy escasa información pública disponible, por lo cual ha sido de mucha ayuda poder acceder a entrevistas con el personal directivo de los proyectos relevados.[3]

Este informe se estructura de la siguiente manera. Luego de la introducción, en la segunda sección se caracterizan las principales tendencias tecnológicas y comerciales de la actividad espacial, y las perspectivas a futuro, presentando las principales iniciativas en la frontera tecnológica que podrían tener impactos significativos sobre la economía del espacio a corto, mediano y largo plazo. Esa sección agrupa los proyectos en conjuntos de actividades que comparten objetivos similares y se reseñan los actores, plazos, antecedentes, pasos a futuro y otros aspectos económicos relevantes. La tercera sección releva siete proyectos argentinos[4] que se vinculan con las actividades descriptas en la segunda sección, y presenta los resultados de la encuesta semiestructurada realizada a los especialistas del sector. En la sección final se presentan las conclusiones del trabajo.

# 2 Tendencias de la actividad espacial

### 2.1 Misiones tripuladas y turismo espacial

#### Misiones tripuladas

Las misiones tripuladas, llamadas *crewed spaceflight* o *human spaceflight missions* en inglés, son exploraciones espaciales con tripulación que, a diferencia de por ejemplo las sondas y satélites que no llevan tripulación a bordo, tienen mayores requerimientos para que las condiciones en el interior de la nave sean aptas para la vida humana, lo cual tiene asociados mayores costos (Tavana & Hatami-Marbini, 2011). Hasta ahora, los objetivos de las misiones tripuladas han sido esencialmente el transporte de astronautas hacia la Estación Espacial Internacional (ISS – International Space Station), la exploración

[3] El caso de Satellogic, por ser el de mayor exposición, es sobre el cual se dispone de más información pública, y fue el único con el cual no se ha podido concretar una entrevista por cuestiones de agenda de sus directivos.

[4] Cabe destacar que esa sección estará concentrada en los proyectos de actores no centrales de la economía del espacio (ARSAT, CONAE, INVAP), ya que las actividades de estos han sido extensamente desarrolladas en otros trabajos (López et al., 2018, 2021; López et al., 2017; López & Pascuini, 2021, 2018; Pascuini, 2020).

espacial y de la Luna; en un futuro no tan lejano, serán la exploración de planetas cercanos, tanto con fines científicos como comerciales.

Hay varias distinciones que se pueden hacer sobre las misiones que llevan personas a bordo de una nave espacial. Una es entre las personas que operan el vehículo durante el lanzamiento y la reentrada, denominadas tripulación, y aquellos civiles que viajan en vuelos comerciales, llamados p*rivate citizen Space Flight Participants* (SFP) por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de EE. UU. (NASA - National Aeronautics and Space Administration), o "participantes de vuelos espaciales" por la Administración Federal de Aviación de EE. UU[5]. Además, las misiones tripuladas se pueden clasificar en aquellas dirigidas por gobiernos, y aquellas con objetivos comerciales. Mientras que las primeras son desarrolladas desde hace décadas por las agencias espaciales, los proyectos para realizar misiones comerciales han tomado un rol preponderante en los últimos años gracias a la iniciativa de empresas privadas.

Un hito que marcó la historia de las misiones tripuladas dirigidas por gobiernos fue cuando en 1961 la URSS logró con su cohete Vostok hacer llegar al espacio al primer ser humano en la historia, Yuri Gagarin. Actualmente, se realizan frecuentemente misiones tripuladas de gestión gubernamental hacia la ISS, la cual se encuentra ocupada desde el año 2000. En línea con el objetivo de fomentar la cooperación internacional en la exploración espacial y el desarrollo de conocimiento científico, la ISS ha sido construida gracias a la contribución de 15 países, de cuyas agencias la NASA (EE. UU.), Roscosmos (Rusia) y Agencia Espacial Europea (ESA – European Space Agency) son las principales colaboradoras. El financiamiento que ha brindado cada país para la construcción de la ISS tiene relación directa con la cantidad de personas que su agencia puede enviar a ella. Para abril de 2021, habían sido enviadas 103 misiones tripuladas a la ISS, totalizando 244 personas de 19 países.

El transporte a la ISS ha sido una actividad en la cual la NASA ha promovido la participación de empresas privadas. Un ejemplo es el de la empresa estadounidense Boeing, que está desarrollando una cápsula espacial reutilizable, la CST-100 Starliner, con capacidad para trasladar hasta siete pasajeros más una carga hasta la ISS.[6] A noviembre de 2019 Boeing había recibido financiamiento de la NASA por aproximadamente USD 5 mil millones para el desarrollo de este proyecto en el marco del programa de la NASA para el traslado de tripulación comercial (Commercial Crew Program) estadounidense a la ISS de manera segura y económica.[7] El primer lanzamiento de prueba no tripulado fue en 2019, utilizando el cohete Atlas V de la firma norteamericana United Launch Alliance (ULA), que debido a un error de cálculo tuvo un aterrizaje prematuro, quedando inconclusa la demostración de su aptitud para realizar viajes a la ISS. Su último lanzamiento de prueba no tripulado estaba programado para el 4 de agosto de 2021 pero debido a un problema técnico se debió postergar y se estima que el lanzamiento con tripulación no tendrá lugar antes de 2022.

En el caso de las actividades privadas orientadas al desarrollo de misiones tripuladas, probablemente la iniciativa actualmente más ambiciosa sea la de SpaceX con el desarrollo de su nave Starship que tiene por objetivo transportar tripulación y carga a la Luna, Marte, e incluso a distancias superiores. Adicionalmente, su gran capacidad de carga también le permitiría ser utilizada para colocar satélites en el espacio, de forma similar a los que hicieron en su época los transbordadores espaciales de la NASA. El desarrollo de este proyecto de SpaceX comenzó en 2012, hasta 2016 fue financiado con fondos propios y en 2016 la empresa recibió un contrato de la fuerza aérea estadounidense por un monto de USD 33,7 millones con el fin de financiar el desarrollo del motor. Otra fuente de ingresos para que SpaceX continúe

[5] Ver: https://www.faa.gov/space/licenses/human_spaceflight/.
[6] Ver: https://www.boeing.com/space/starliner/.
[7] Ver: https://www.nasa.gov/content/commercial-crew-program-the-essentials.

con este desarrollo son los contratos con la NASA, a quien actualmente le proporciona servicios de transporte a la ISS y en cuya misión para enviar humanos a la Luna también participa como contratista.

Sin duda la llegada del hombre a la Luna, en 1969 con el programa Apolo de EE. UU., fue otro hito en la historia de las misiones tripuladas (Roselló, 2011). En la actualidad, el programa Artemis de la NASA tiene como objetivo volver a enviar astronautas a la Luna para estudiarla en mayor profundidad y lograr las bases necesarias para una primera misión tripulada a Marte. El programa Artemis se divide en 3 fases secuenciales. Se planifica que, en la primera, Artemis I, se probará la nave Orión y el sistema de lanzamiento Space Launch System (SLS) que la pondrá en el espacio pero sin tripulación a bordo, lo cual se proyectaba para finales de 2021. En la segunda fase, Artemis II, se ensayarán el SLS y Orión con tripulación a bordo en un viaje que rodeará la Luna en su recorrido, lo cual se estima que sucederá en 2023. Y por último, la tercera fase, Artemis III, completaría la serie de objetivos enviando por segunda vez humanos a la Luna, lo cual se proyecta para 2024.[8]

Se ha estimado que el costo total del proyecto será de USD 85,7 mil millones. Al SLS y el Orión, que tendrá la capacidad de albergar cuatro tripulantes por 21 días, se le agregan otros componentes que son fundamentales para cumplir objetivos en las diferentes fases del programa: (i) los Exploration Ground Systems (EGS) operarán los sistemas necesarios en Tierra para el lanzamiento de cohetes; (ii) el Gateway será la plataforma orbital lunar que proveerá soporte esencial para que los humanos puedan volver a la Luna tanto en vuelos comerciales como gubernamentales[9]; y (iii) el Human Landing System (HLS) será el vehículo final que la tripulación abordará para el descenso a la superficie lunar desde el Gateway (NASA, 2020).

El programa Artemis se llevará adelante con la contratación de diversas compañías privadas, grandes y pequeñas, y con la colaboración de institutos de investigación. Para el desarrollo de la nave Orión, el SLS y los EGS los principales contratistas son las empresas estadounidenses Aerojet Rocketdyne, Boeing, Jacobs, Lockheed Martin, y Northrop Grumman. Para el HLS la NASA realizó una licitación para diseñar un prototipo en la que participaron tres candidatos estadounidenses: National Team (un consorcio compuesto por varias compañías entre las que se encuentra Virgin Galactic), Dynetics, y SpaceX. El módulo de aterrizaje lunar que se eligió para el programa fue el Starship HLS de SpaceX - una variante de la nave Starship- con un contrato de USD 2,8 mil millones.

Además de empresas e instituciones estadounidenses también colaborarán organizaciones de otros países. Por ejemplo, la ESA contribuirá en el European Service Module de la nave Orión que actúa como principal componente de potencia y propulsión en la fase Artemis I y vuelos posteriores[10], la Agencia Espacial Canadiense (CSA – Canadian Space Agency) se comprometió a proveer robótica avanzada para el Gateway, la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency) planea contribuir en los componentes habitacionales y la logística de reabastecimiento, y la agencia rusa Roscosmos expresó su interés en cooperar en el Gateway (NASA, 2020). De hecho, con el fin de reconocer el carácter pacifico del programa y considerando la necesidad de coordinación hacia un objetivo en beneficio de toda la humanidad se firmó The Artemis Accords del cual participaron hasta octubre de 2021, 13 países[11], y se espera que firmen aún más[12].

Otras agencias también se encuentran proyectando misiones tripuladas. En el caso de India, el programa Indian Human Spaceflight Programme de la agencia espacial india (ISRO - Indian Space Research

[8] Ver: https://www.nasa.gov/what-is-artemis. y https://www.nasa.gov/feature/nasa-s-first-flight-with-crew-important-step-on-long-term-return-to-the-moon-missions-to.

[9] Ver: https://www.nasa.gov/gateway/overview.

[10] Ver: https://www.nasa.gov/content/artemis-partners.

[11] Australia, Brasil, Canadá, Emiratos Árabes, Italia, Japon, Luxemburgo, Nueva Zelanda, Polonia, República de Corea, Ucrania, Reino Unido y Estados Unidos.

[12] Ver: https://www.nasa.gov/specials/artemis-accords/index.html.

Organisation) propone lanzar tres astronautas en un vuelo orbital a aproximadamente 300 km de altura. El programa consta de 3 etapas; la primera y segunda se denominan Gaganyaan 1 y Gaganyaan 2, se enviarán sin tripulación y se proyectan para 2022 y 2023 respectivamente. Se planea que la tercera etapa, Gaganyaan 3, será el primer vuelo tripulado de la India en 2023; no obstante, varias demoras en el programa ponen en duda el cumplimiento de este objetivo.

Por su parte, China eludió su exclusión de la ISS creando el programa Tiangong, dirigido por la Administración Espacial Nacional China (CNSA - China National Space Administration), para instalar su estación espacial que tendrá tres módulos (Hong, 2018). El módulo principal Tianhe fue lanzado exitosamente en abril de 2021 y en junio enviaron a tres astronautas a ocuparlo. Los otros dos módulos, Wentian y Mengtian, se proyectan lanzar para 2022. Anteriormente, en 2011 y 2016 habían logrado poner en órbita los laboratorios Tiangong-1 y Tiangong-2 respectivamente, los cuales ya han sido desactivados y reingresados a la Tierra.

Además, la CNSA y Roscosmos han anunciado una hoja de ruta para la Estación de Investigación Lunar Internacional (ILRS - International Lunar Research Station) que consiste en instalar una estación en la órbita lunar y una base en la superficie lunar con robots. El programa se desarrollará en 3 fases, donde la primera que se denomina Reconnaissance abarca el periodo 2021-2025 e incluye misiones de reconocimiento y la elección del lugar a colocar la base lunar. La segunda fase, entre 2026 y 2035 sería de construcción, y por último, se proyecta que desde 2036 se podrán utilizar las instalaciones y enviar misiones tripuladas hacia la Luna[13].

Incluso otros países con menor tradición en la actividad espacial tienen planes para realizar misiones tripuladas; por ejemplo, la Agencia Espacial de Irán (ISA – Iranian Space Agency) anunció en 2005 el Iranian Crewed Spaceship Project, que tiene por objetivo enviar, por primera vez para Irán, un astronauta en viaje suborbital a 175 km de altura. La principal limitación de dicho programa es que actualmente Irán no cuenta con un vehículo lanzador propio cuyo desarrollo se dificulta debido al aislamiento financiero internacional.

**Turismo espacial**

Además de las misiones espaciales tripuladas con objetivos como la exploración espacial, el transporte de astronautas a la ISS, los viajes de astronautas a la Luna y la exploración de planetas cercanos, existen proyectos para brindar la posibilidad a civiles de acceder al espacio con fines turísticos. Dentro de los proyectos para actividades de turismo espacial se pueden distinguir dos tipos de vuelos, los orbitales y los suborbitales. Si bien tanto los vuelos orbitales como suborbitales alcanzan el espacio[14], la principal diferencia entre estos es que los vuelos suborbitales permanecen brevemente allí y regresan a la Tierra sin orbitarla, mientras que los vuelos orbitales se sitúan a una altura y se desplazan a una velocidad lo suficientemente altas como para girar alrededor del planeta, es decir orbitan la Tierra, y luego de un tiempo reingresan[15]. Los proyectos de turismo espacial más avanzados a la fecha son Inspiration 4 de SpaceX, SpaceShipTwo de Virgin Galactic, y New Shephard de Blue Origin.

Inspiration 4 es el proyecto de la empresa SpaceX que colocó la nave Crew Dragon con pasajeros civiles en la órbita baja terrestre, donde permaneció tres días para luego regresar a la Tierra. La nave Crew Dragon se basa en el modelo que se utilizó primero para llevar carga a la ISS, que luego derivó en la que actualmente transporta astronautas a la ISS y para cuyo desarrollo se utilizaron fondos de la NASA en el marco su programa Commercial Orbital Transportation Services (COTS), el cual busca impulsar el

[13] Ver: http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812150/content.html.

[14] La Federación Aeronáutica Internacional (FAI), reconoce a la línea de Kármán (100 km de altura sobre el nivel del mar) como la frontera entre la atmósfera terrestre y el espacio. Por otra parte, la NASA y las fuerzas armadas de EE. UU. sitúan el límite entre la atmósfera y el espacio a 80 Km de altura, donde concluye la Mesosfera.

[15] Esto incluiría vuelos a la Luna o a la ISS ya que una desde esas posiciones también se orbitaría la Tierra.

transporte de carga comercial y de pasajeros de la industria espacial en EE. UU.[16][17] La primera misión del proyecto Inspiration 4 fue anunciada en febrero de 2021 y el 15 de septiembre de 2021 se utilizó el cohete Falcon 9 (también de SpaceX) para poner a la Crew Dragon con cuatro civiles a bordo en una órbita que alcanzó los aproximadamente 575 km. Luego de tres días en órbita, la nave regresó de manera exitosa a la Tierra marcando el hito de ser el primer vuelo orbital siendo todos sus pasajeros civiles.

Uno de los pasajeros, el empresario Jared Isaacman, compró los boletos de los cuatro asientos disponibles en la misión y seleccionó a los tres acompañantes. Aunque a septiembre de 2021 la suma pagada por Isaacman aún no había sido revelada, según distintos cálculos basados en lo que le paga la NASA a SpaceX para transportar pasajeros a la ISS, se especula que el valor de la misión rondó los USD 200 millones,[18] cifra que guarda cierta coherencia con el anuncio de SpaceX de que USD 154 millones de lo recaudado en la compra de los boletos y donaciones para la misión serán donados para contribuir a la investigación en la lucha contra el Cáncer infantil que lleva a cabo el hospital estadounidense St. Jude. Luego de esta primera misión se espera comercializar el servicio de vuelos espaciales turísticos en viajes de hasta siete pasajeros, pero a diciembre de 2021 aún no había información disponible sobre cuál será el valor de este servicio.

Además de los proyectos mencionados con anterioridad, SpaceX tiene varios acuerdos con la empresa estadounidense Axiom Space para realizar vuelos comerciales a la ISS. SpaceX se encargará del transporte hacia la ISS con una nave Crew Dragon, y Axiom Space se encargará de gestionar la misión que lleva el nombre Ax-1 y capacitará a los pasajeros que estarán ocho días en la ISS, además de brindarles asistencia médica y provisiones. Con una capacidad de transporte de cuatro pasajeros por viaje, el costo de cada asiento en la misión es de aproximadamente USD 55 millones y se espera que Ax-1 se lleve adelante en 2022. Luego de esta misión, Axiom Space y SpaceX tienen un acuerdo para realizar más vuelos comerciales a la ISS hasta el año 2023.

De hecho, Axiom Space tiene objetivos mucho más ambiciosos en el plano del turismo espacial que solo enviar turistas a la ISS. La empresa está desarrollando una serie de módulos que se anexarán a la ISS y luego se convertirán en una estación espacial independiente. Estos módulos comprenden cuartos de tripulación, un laboratorio y un módulo de energía que se encargará de independizar el abastecimiento de energía que en primera instancia proporcionará la propia ISS. La empresa estima que el lanzamiento del primer módulo tendrá lugar en 2024 y se concluirá el lanzamiento de módulos y el ensamble de estos en 2028, momento que coincide con el cual la NASA estima que el fin de la vida útil de la ISS.[19]

Dentro de los proyectos de turismo espacial vinculados a los vuelos suborbitales se encuentra el de la empresa Virgin Galactic cuyo fundador es Richard Branson, y que en 2009 presentó su vehículo espacial SpaceShipTwo. Este vehículo tiene la capacidad de realizar en el espacio maniobras de vuelo y planeamiento similares a las de un avión. El SpaceShipTwo alcanza una altura de aproximadamente 16 km sujeto al VMS Eve, un vehículo con forma de avión que realizó su primera prueba de vuelo en 2013, para luego soltarse y activar su propio sistema de propulsión que le permite alcanzar una altura aproximada de 92 km -en otras palabras, ingresa al espacio-. El SpaceShipTwo permanece un tiempo en el espacio donde los pasajeros experimentan una sensación de gravedad casi nula y luego regresa a la Tierra. La empresa declaró en junio de 2020 que hasta ese momento se habían requerido más de USD 1.000 millones como inversión total en el desarrollo de capacidades y plataforma. Antes de la primera misión exitosa de Virgin Galactic, el proyecto estuvo marcado por una tragedia cuando en 2014 dos pilotos murieron luego de que en una prueba el primer SpaceShipTwo (bautizado VSS Enterprise),

[16] Para más información ver: https://www.nasa.gov/home/hqnews/2012/oct/HQ_12-357_SpaceX_CRS-1_Berthing.html.
[17] Para más información ver: https://www.nasa.gov/commercial-orbital-transportation-services-cots.
[18] Ver: https://www.inverse.com/science/inspiration-4-how-much-is-a-ticket-to-space
[19] Para más información ver: https://www.axiomspace.com/axiom-station.

se estrellase en el desierto de Mojave. Tras varios vehículos y pruebas en los años siguientes, en julio de 2021 se desarrolló la primera misión del proyecto de Virgin Galactic, denominada Unity 22, que tuvo a bordo a Richard Branson junto a otros cinco pasajeros. La misión fue exitosa y se esperan vuelos futuros, en los cuales el costo del boleto se estima que oscilará entre los USD 200 mil y los USD 250 mil. La próxima misión (Unity 23) del SpaceShipTwo tendrá como cliente a la fuerza aérea italiana y se encuentra programada para el cuarto trimestre de 2022.

Otro de los proyectos de turismo espacial que también se enmarca dentro de los vuelos suborbitales es el de la empresa Blue Origin, en la cual su fundador Jeff Bezos había invertido a julio de 2021 más de USD 5,5 mil millones vendiendo tenencias de sus acciones de Amazon. En los vuelos de este proyecto se emplea un cohete reutilizable, el New Shepard, que permite colocar en el espacio a 106 km de la Tierra una cápsula con capacidad para 6 personas que luego de unos minutos regresa a la Tierra reduciendo su velocidad de caída mediante el uso de paracaídas. La primera misión tripulada del New Shepard (NS-16) tuvo lugar en julio de 2021, colocando en el espacio a 4 pasajeros, Jeff Bezos, su hermano, una aviadora de 82 años que fue descartada como astronauta en 1961 por ser mujer, y un joven de 18 años cuyo padre pagó por el asiento USD 28 millones en una subasta. La misión tuvo una duración de aproximadamente 11 minutos y regresó a la Tierra con éxito. Respecto de los vuelos que se planean realizar a futuro, todavía no se sabe con exactitud el precio que tendrán los boletos, pero existen estimaciones que apuntan a que su valor podría oscilar entre los USD 200 mil y USD 300 mil.

### 2.2 Misiones no tripuladas y exploración del espacio

#### Misiones a Marte, Venus y el Sol

Existen diversos programas de exploración no tripulada de Marte en los cuales se utilizan desde orbitadores hasta *rovers* (robots). Uno de estos programas es el Programa de Exploración de Marte de la NASA, el cual comenzó en 1994 y aún hoy sigue vigente. Entre los hitos más relevantes de las últimas dos décadas se encuentra el orbitador Mars Odyssey que desde 2001 a 2004 relevó imágenes y construyó el primer mapa de componentes y minerales que conforman el planeta marciano. Este orbitador sigue funcionando hasta la actualidad, identificando posibles sitios de aterrizaje de los *rovers*. Otros orbitadores operativos de la NASA son el MAVEN, que se lanzó en 2013 y se encarga de realizar mediciones de la atmósfera de Marte con la finalidad de entender los cambios climáticos en este planeta, y el Mars Reconnaissance Orbiter, que se lanzó en 2005 con la misión de recolectar imágenes de alta resolución del terreno.

También existen otras misiones de la NASA que están operativas sobre el terreno de este planeta. En 2011 la NASA puso en funcionamiento el *rover* Curiosity que recolecta muestras de rocas, del suelo y del aire para analizarlas y determinar si existió o existe vida microbiana en Marte. El *rover* más actual de la NASA es el Perseverance, que descendió en la superficie de Marte a principios de 2021 para relevar información del hábitat de este planeta y recolectar muestras de sedimentos que luego serán traídas a la Tierra para investigarlas.[20]

Además de EE. UU., otros países también tienen sus proyectos para explorar Marte. Emiratos Árabes Unidos construyó el orbitador Hope que lanzado desde Japón en 2020 comenzó a orbitar el planeta rojo en febrero del 2021 y tendrá una vida útil estimada de dos años. Su misión es tomar una imagen completa de la atmósfera para comprender su comportamiento, en particular la pérdida de hidrógeno y oxígeno desde la atmósfera del planeta hacia el espacio. China también explora Marte con el orbitador Taiwen 1 y el *rover* Zhurong que fueron lanzados en mayo del 2021 y entraron en operación en el mismo mes. La función del orbitador, además de transportar el *rover,* es realizar mediciones científicas, como la

[20] Ver más información en: https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/.

medición de presión y temperatura atmosférica, y actuar como canal de comunicación entre el *rover* y la Tierra.[21] En cuanto al *rover*, se estimaba que su vida útil sería de aproximadamente 3 meses, pero a diciembre del 2021 seguía operativo, y su objetivo principal es buscar evidencias de agua y de la existencia de vida en el pasado, y recolectar información sobre la composición del terreno y de sus rocas.

Otro cuerpo celeste sobre el que se han desarrollado programas de exploración es Venus, en parte debido a que teniendo un tamaño similar al de la Tierra posee condiciones geodinámicas radicalmente diferentes. Diversas misiones han buscado recolectar información que permita entender los diferentes caminos evolutivos que han tomado estos "planetas gemelos". Venus Express fue la primera misión de la ESA en relevar a Venus y contó con la colaboración de la NASA y Rusia. El satélite fue lanzado en 2005, su objetivo fue estudiar la dinámica del planeta, la interacción entre la atmósfera y la superficie, y entre su atmósfera y el viento solar, y en 2014 se declaró la finalización de la misión[22]. Este programa se realizó con un presupuesto relativamente bajo (USD 110 millones) gracias a la reutilización de tecnología proveniente de misiones previas.

Actualmente orbita sobre Venus el satélite Planet-C, también conocido como Akatsuki, lanzado en 2010 por JAXA, siendo la primera misión exitosa de exploración de otro planeta de esta agencia. Akatsuki estudia la circulación atmosférica de Venus con el objetivo de entender los patrones climáticos, confirmar la presencia de rayos en nubes espesas y buscar signos de vulcanismo activo[23]. En 2010 tuvo su primer intento de inserción a la órbita de Venus, el cual falló; por cinco años la nave fue puesta en hibernación y en 2015 se logró la inserción orbital con éxito. El presupuesto de esta misión fue de USD 174 millones para el satélite y USD 116 millones para el lanzamiento.

Otro proyecto que tiene por objetivo estudiar a Venus es el Shukrayaan-1 de la ISRO, con fecha de lanzamiento proyectada para 2024, que buscará estudiar la atmósfera y superficie del planeta. Por su parte la NASA tiene dos programas enfocados en Venus, el programa VERITAS y el DAVINCI+, cuyas fechas estimadas de lanzamiento son 2028 y 2030 respectivamente, y la ESA también tiene su proyecto para este planeta llamado EnVision, cuya fecha estimada de lanzamiento es en 2031[24].

Las misiones de exploración al Sol son importantes para responder preguntas que tiene la ciencia en relación con la dinámica de la actividad solar. El entorno variable que posee genera fenómenos que afectan a la Tierra, interfiriendo en las comunicaciones satelitales, de navegación, de radio y también generando cortes en el suministro eléctrico. Por estas razones, entender por qué suceden es de gran importancia tanto para el desarrollo de la ciencia como también de nuestra vida cotidiana.

En las últimas décadas, agencias de diversos países -como Japón y EE. UU.- y de la Unión Europea han colaborado para llevar a cabo programas de exploración solar. Uno de los programas vigentes para explorar el Sol es el satélite HINODE lanzado en 2006 y conocido anteriormente como Solar-B.[25] Está equipado con tres telescopios avanzados que proporcionan imágenes de la superficie del Sol, permiten ver el gas a una temperatura de millones de grados y tomar imágenes ultravioleta que pueden seguir el material solar mientras se mueve. La última información disponible sobre el satélite son las imágenes que se tomaron en marzo de 2021. En este programa participan JAXA y el Instituto del Espacio y la Ciencia Astronáutica (ISAS - Institute of Space and Astronautical Science) -ambos de Japón- en colaboración con EE. UU. y el Reino Unido.

[21] Para más información ver: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2020-049A.
[22] Ver: https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Venus_Express y https://solarsystem.nasa.gov/missions/venus-express/in-depth/.
[23] Ver: https://solarsystem.nasa.gov/missions/akatsuki/in-depth/ .
[24] Ver: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/ESA_selects_revolutionary_Venus_mission_EnVision
[25] Ver: https://www.nasa.gov/mission_pages/hinode/mission.html .

Otro de los proyectos existentes lo desarrolla la ISRO y planea el lanzamiento de la misión Aditya-L1 para mediados de 2022. Además, la NASA envió en 2018 la sonda Parker Solar Probe que viajará a través de la atmósfera del Sol, esto es siete veces más cerca de lo que cualquier satélite ha llegado[26], con una trayectoria que incluirá siete sobrevuelos a Venus a lo largo de casi siete años para reducir gradualmente su órbita elíptica alrededor del Sol. Por otro lado, la ESA, en asociación con la NASA, lanzó en febrero de 2020 el satélite Solar Orbiter, con una vida útil operativa de diez años, que tomará imágenes de las regiones polares del Sol. Desde su lanzamiento, ha proporcionado las primeras asociaciones entre fenómenos en la superficie del Sol y el espacio, sobre las "hogueras" solares, la meteorología espacial y la desintegración de cometas.[27]

**Desvío de asteroides**

Una creciente preocupación de las agencias espaciales es el impacto de asteroides contra la Tierra. Debido a esto, varias agencias se encuentran desarrollando técnicas de defensa planetaria con el fin de poder desviar asteroides que podrían llegar a impactar con la Tierra.[28] En 2005 la NASA realizó una prueba del daño que se le puede efectuar a un cometa impactándolo; para esto envió al espacio la nave Deep Impact, la cual desprendió un "impactador" sobre el cometa Tempel 1, buscando luego medir los daños ocasionados en el cometa. Estas mediciones no se pudieron efectuar en ese momento debido al desprendimiento de hielo y polvo generado por el impacto. Por ese motivo, en 2011 la NASA envió hacia el mismo cometa la nave espacial Stardust, la cual pudo medir el daño ocasionado en Tempel 1, el cual se resume a un cráter de 150 metros de diámetro.

En línea con estas experiencias, actualmente se está ejecutando una misión conjunta entre la NASA y la ESA con el fin de evaluar la capacidad de producir impactos en asteroides y redireccionarlos. Esta misión se denomina AIDA, y se realizará en dos etapas. En la primera de ellas, proyectada para octubre de 2022, la NASA lanzará un impactador de asteroides (de fabricación propia) cuya función es chocar e intentar redireccionar el asteroide DART. En la segunda etapa de la misión, y luego del cumplimiento de la etapa realizada por la NASA, la ESA enviará la sonda Hera (fabricada por ESA) que medirá el efecto del impacto que se produjo en el asteroide y recolectará datos que permitirán mejorar la comprensión sobre cómo reaccionan los asteroides a estos impactos. Además, la NASA se encuentra estudiando el comportamiento y la composición del asteroide Bennu, que tiene una muy baja probabilidad de impactar contra la Tierra en aproximadamente 150 años, mediante la nave espacial OSIRIS-REx, la cual comenzó sus actividades en 2018 y cuyo retorno a la Tierra con muestras del asteroide se espera en 2023.

**Telescopios espaciales**

Los telescopios espaciales se lanzan al espacio con el objetivo de disminuir la masa atmosférica que hay entre el telescopio y el objetivo a observar. La atmósfera genera a los telescopios terrestres dificultades como la necesidad de filtrar distorsiones electromagnéticas o la contaminación lumínica. El telescopio Hubble Space Telescope (HST) es un telescopio espacial que orbita la Tierra a aproximadamente 559 km. El HST fue un proyecto conjunto de la NASA y la ESA que comenzó a construirse en 1977, se terminó en 1985, y su lanzamiento programado para 1986 (con el transbordador Discovery de la NASA) se retrasó hasta 1990 debido a la catástrofe del Challenger en 1986. El costo del desarrollo del telescopio fue de USD 2 mil millones, y debido a varias misiones de servicio, que extendieron su vida útil de los 15 años iniciales hasta la actualidad, el costo total acumulado hasta 2021 ha superado los USD 10 mil

[26] Ver: https://www.nasa.gov/content/goddard/parker-solar-probe-humanity-s-first-visit-to-a-star

[27] Ver: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Solar_Orbiter .

[28] Para más información ver: https://www.esa.int/Safety_Security/Risky_asteroids.

millones. Actualmente no se proyectan nuevas misiones de servicio y se espera que siga funcional hasta finales de la década de 2020[29].

Actualmente se encuentra en las etapas previas a su lanzamiento el Telescopio Espacial James Webb (JWST - James Webb Space Telescope), cuyo desarrollo es llevado adelante por la NASA, la ESA y la CSA. Si bien se lo suele referir como el sucesor del HST, se espera que ambos trabajen en conjunto durante varios años. De hecho, el objetivo es observar más lejos de lo que se pudo con el HST gracias a la capacidad del JWST de captar ondas infrarrojas, las cuales no son el rango de trabajo principal del HST. Otra de las particularidades que distinguen al JWST es que este no orbitará alrededor de la Tierra como lo hace el HST, sino que estará situado en una posición a 1,5 millones km de la Tierra desde donde orbitará alrededor del Sol. Al estar situado tan lejos de la Tierra no se podrán realizar misiones de servicio para solucionar problemas técnicos, lo que limitará su vida útil estimada entre cinco y diez años. El costo total del JWST, incluido el lanzamiento programado para diciembre de 2021 que estará a cargo de la ESA junto con la empresa Arianespace, será de USD 3,5 mil millones.

**Interferómetros espaciales**

Las ondas gravitacionales son un tipo de onda invisible que viaja a la velocidad de la luz y se genera cuando cuerpos muy masivos en el espacio se mueven a grandes velocidades, como por ejemplo cuando dos agujeros negros se fusionan[30]. Detectar ondas gravitacionales es una tarea extremadamente compleja, debido a que los efectos de estas en el universo son casi imperceptibles. Los dispositivos que se usan para detectarlas son los interferómetros, que miden el tiempo que tarda la luz de un láser en viajar desde su posición inicial hasta un espejo y rebotar de nuevo hacia la posición inicial[31]. En la Tierra existen varios interferómetros; por ejemplo, el Observatorio de Detección de Ondas Gravitatorias (LIGO - Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) en EE. UU. o el Interferómetro Virgo en Italia.

Si bien los interferómetros existentes ya han podido captar exitosamente ondas gravitacionales, el hecho de estar localizados en la Tierra y sus dimensiones acotadas imponen ciertas limitaciones, a partir de las cuales surge la idea del interferómetro espacial Laser Interferometer Space Antenna (LISA). LISA consistirá de una constelación de tres satélites con una órbita alrededor del Sol, los cuales estarán equipados con láseres y espejos. La constelación formará un triángulo equilátero con lados de 2,5 millones de km, transformándose en el interferómetro más grande de la historia hasta el momento.

Actualmente LISA está siendo desarrollado por la ESA con apoyo de un consorcio internacional de científicos y la NASA, tiene una fecha estimada de lanzamiento en 2034, una vida útil de cinco a diez años y un presupuesto estimado entre USD 1 a 2 mil millones. Por ahora, uno de los grandes logros conseguidos por el equipo de desarrollo de LISA fue la misión LISA Pathfinder, la cual duró desde 2015 hasta 2017 y consistió en enviar una nave que contenía un prototipo para probar su funcionamiento en el espacio. Los resultados obtenidos de esta misión fueron definidos como un "gran éxito" tanto por la ESA como por la NASA[32]. Aunque por ahora LISA es el proyecto más concreto para medir ondas gravitacionales en el espacio, existen otros proyectos como los de dos universidades chinas que han comenzado a diseñar los interferómetros TianQi y Taiji, y el de JAXA, que comenzó el desarrollo del interferómetro DECIGO, el cual complementaría a LISA en el rango de frecuencias que captaría.

**Viajes interestelares**

Los viajes interestelares son misiones no tripuladas donde se envía una nave más allá de la atracción gravitacional del Sol entrando en lo que se denomina espacio interestelar. En el año 2015 Yuri Milner,

[29] Ver: https://www.nasa.gov/content/about-the-hubble-story.
[30] Ver: https://spaceplace.nasa.gov/gravitational-waves/en/.
[31] Ver: https://www.ligo.caltech.edu/page/what-is-interferometer.
[32] Ver: https://lisa.nasa.gov/.

un emprendedor ruso, fundó el programa privado de investigación Breakthrough Initiatives, dentro del cual hay varios proyectos que tienen como objetivo principal realizar avances en la búsqueda de vida extraterrestre. Uno de estos proyectos es Breakthrough Starshot, en el cual se planea enviar varios pequeños vehículos espaciales no tripulados en un viaje interestelar hacia el sistema Alpha Centauri, el más cercano a la Vía Láctea, para captar imágenes del planeta Proxima Centauri b en un viaje de aproximadamente 20 años.

Para lograr sus objetivos el equipo de Breakthrough Starshot requerirá que la nave alcance una velocidad extremadamente alta, de entre el 15% al 20% de la velocidad de la luz [33]. Para conseguir esta velocidad planean combinar la tecnología de las velas solares, las cuales utilizan luz para impulsar al vehículo espacial, junto con una nave muy pequeña. Sin embargo, el equipo de desarrollo se enfrenta a muchos desafíos técnicos; en particular los dos mayores son: (i) conseguir un material que posibilite la creación de una nave lo suficientemente ligera; y (ii) una fuente lumínica proveniente de un láser con una potencia más grande de lo que se puede conseguir con la tecnología actual.

Breakthrough Starshot comenzó a desarrollarse en 2016 y Milner declaró en una nota en The New York Times que la nave podría ser lanzada en 2036 y tener un costo total de entre USD 5 a 10 mil millones [34]. Si bien existen otras misiones interestelares en marcha como el Voyager 1 y 2 de la NASA, o proyectos en desarrollo como Interstellar Express de la CNSA[35] [36], estas tienen una ambición mucho menor a la de Breakthrough Starshot. Para dar una idea, mientras que la misión china Interstellar Express planea ser lanzada en 2024 y recorrer 100 unidades astronómicas[37] para el año 2049, la distancia al sistema estelar al que quiere llegar el proyecto Breakthrough Starshot es de más de 260.000 unidades astronómicas.

### 2.3 Explotación de recursos naturales en el espacio

#### Agricultura espacial

La agricultura espacial se desarrolla actualmente en diversos programas cuyo objetivo es diseñar invernaderos y *greenhouses* que tengan la capacidad de cultivar alimentos de manera autónoma y segura durante las misiones tripuladas. Estos proyectos generan gran interés porque permitirían estancias largas en el espacio sin necesidad de reabastecimiento. Para ello hay que superar varios desafíos que se presentan fuera de la Tierra como la ausencia de material orgánico en los suelos, la dificultad para obtener oxígeno y agua, la menor gravedad, o la radiación cósmica. La agricultura espacial permitirá, entre otras cuestiones, generar oxígeno y nutrientes para la alimentación, eliminar el dióxido de carbono del ambiente y también generar beneficios mentales a partir de la creación de espacios de recreación y relajación para los tripulantes de las misiones.

Dentro de los programas vigentes de agricultura espacial se encuentra el sistema de producción de vegetales en la ISS, conocido como Veggie, que contiene seis plantas para el estudio de los cultivos en el espacio[38]. Además, el proyecto Eden-ISS -realizado conjuntamente por el Centro Alemán de Investigaciones Aeroespaciales (DLR - Deutsches Zentrum für Luft) y el Centro de Investigaciones Polares y Marinas (AWI - Alfred Wegener Institute) de Alemania- consiste en la instalación de un invernadero en la Antártida que no precisa de tierra, luz solar ni pesticidas. Esto permite estudiar cómo cultivar plantas en contextos extremos como desiertos y zonas muy frías, así como también en misiones

[33] Ver: https://breakthroughinitiatives.org/about.

[34] Ver: https://www.nytimes.com/2016/04/13/science/alpha-centauri-breakthrough-starshot-yuri-milner-stephen-hawking.html.

[35] Ver: https://spaceplace.nasa.gov/voyager-to-planets/sp/.

[36] Ver: https://www.planetary.org/articles/china-voyager-like-interstellar-mission.

[37] Una unidad astronómica equivale a 150 millones de kilómetros.

[38] Ver: https://www.nasa.gov/content/growing-plants-in-space.

espaciales. El invernadero ha dado resultados positivos y sus cultivos brindan alimentos frescos a los investigadores alemanes en la Antártida.

Dentro de los proyectos ya concluidos se encuentra el realizado en Perú por el Centro Internacional de la Papa junto con la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Lima, donde estudiaron si se podría cultivar papas en Marte emulando las condiciones del planeta. Con el experimento se determinaron las condiciones mínimas que el tubérculo es capaz de soportar. Otros proyectos por ahora son diseños a la espera de que se desarrolle la tecnología que permita su ejecución. Por ejemplo, SIRONA es el diseño de una *greenhouse* que ganó un reconocimiento por ser el más innovador en 2019 en la competencia NASA BIG[39] Idea Challenge. El diseño, que puede albergar a una tripulación en Marte por 600 días, lo realizaron en conjunto estudiantes de la Universidad de Colorado Boulder, Harvard, Cornell y Hawaii, e incluye un domo de hielo para bloquear la radiación solar, y cultivos y plantas que generan no solo beneficios para el desarrollo de la vida humana, sino que también contribuyen a la estética para crear un hogar fuera de la Tierra (Hava et al., 2020).

**Minería de asteroides**

La minería de asteroides tiene por finalidad extraer de asteroides próximos a la Tierra no solo metales preciosos, sino también materiales que pueden ser útiles para actividades de propulsión, agricultura, metalurgia, o producción de semiconductores, entre otros (Ross, 2001). Los llamados *Near-Earth Objects* (NEOs) son aquellos cuya órbita se acerca a menos de 1,3 unidades astronómicas[40] (UA) del Sol y a menos de 0,3 UA de la Tierra; se considera que existen actualmente cerca de 20.000 NEOs[41]. Sin embargo, no todos ellos son objetivos para la minería, dado que deben encontrarse en una órbita accesible. Para lograr la viabilidad económica de estos proyectos es necesario el desarrollo de tecnología que permita su ejecución a costos viables. Dentro de los potenciales beneficios de esta actividad se encuentran los medioambientales, debido al reemplazo de la extracción de materiales en la Tierra. Incluso, si la tecnología desarrollada es reutilizable (e. g., cohetes reutilizables como los de SpaceX), sería posible que los proyectos sean sustentables con el medioambiente minimizando la cantidad de desechos generados. Una dificultad para la actividad es la prohibición, desde el Tratado del Espacio de 1967 de la ONU, de obtener derechos de propiedad sobre cualquier cuerpo celeste (Gadea, 2018), aún cuando los recursos extraídos no están encuadrados en ese tratado internacional. A esto, se suman las consecuencias que podrían darse sobre la economía mundial si se logran traer a la Tierra minerales en cantidades significativas, con la posibilidad de provocar fluctuaciones enormes en sus precios (Such, 2018).

Según Statista, el valor de mercado de la minería de asteroides -es decir, el valor de las tecnologías, diseños y compañías existentes en el mercado- en 2017 era de USD 712 millones y se proyecta que en 2025 será de USD 3,9 mil millones (Garside, 2021). El mercado tiene una gran impronta privada con el desarrollo de *startups* y empresas que sobreviven gracias al financiamiento que ofrecen los capitales de riesgo. Dentro de las primeras empresas en la actividad se encuentra Planetary Resources, fundada en 2012 con el objetivo de minar asteroides para extraer minerales y agua, que es un recurso fundamental para la exploración humana del espacio a gran escala. La empresa logró enviar satélites para probar la tecnología, pero en 2018 se encontró con problemas de financiamiento y fue comprada por una empresa de *blockchain* virando hacia proyectos de seguimiento satelital de colaboración colectiva basados en dicha tecnología. Esto es, un sistema de comunicación entre satélites que no requiere de intermediarios

[39] por Breakthrough, Innovative, and Game-changing.

[40] Es una unidad de longitud aproximadamente igual a la distancia media entre la Tierra y el Sol, una unidad astronómica equivale a aproximadamente 150 millones de kilómetros.

[41] Ver: https://www.esa.int/Safety_Security/Near-Earth_Objects_-_NEO_Segment .

-cómo el que se utiliza para el envío de criptomonedas- que brindaría grandes ventajas para diseñar rutas entre las constelaciones satelitales.

En 2016 fue fundada en Reino Unido la *startup* Asteroid Mining Corporation cuya misión El Dorado proyectada para 2023 tiene como fin enviar un satélite denominado Asteroid Prospecting Satellite One (APS-1) que realizará un relevamiento de asteroides y cometas para identificar cuáles son los más viables para minar. Los datos recolectados se comercializarán luego a aquellas empresas que quieran realizar minería de asteroides[42]. El costo estimado del proyecto es de 7,2 millones de libras. Otro caso es Aten Engineering una empresa estadounidense, fundada en 2017, que también prevé brindar servicios de identificación de asteroides de interés para la minería.

TransAstra es una empresa estadounidense que desarrolla actualmente la misión Apis en colaboración con la NASA. La misión involucra tres naves denominadas Mini Bee, Honey Bee y Queen Bee, equipadas con un sistema de captura y minado de asteroides. En 2019 se anunció que el desarrollo de la nave Mini Bee requeriría de una inversión de USD 10 millones[43], y en noviembre de 2020 se encontraba en construcción. Cuenta con una tecnología de minado denominada Optical Mining (OM) que requiere de energía solar concentrada para minar el asteroide. Una peculiaridad de la nave es que posee un sistema de propulsión llamado Omnivore Solar Thruster, que utiliza energía solar y agua para movilizarse en el espacio. Para probar los diseños se enviará una población sintética de asteroides a la órbita y se intentará capturarlos y minarlos con la nave Mini Bee[44].

A pesar de que el mercado se compone principalmente de empresas privadas, las principales agencias públicas también llevan a cabo misiones que, aunque con objetivos generalmente de investigación científica, generan resultados que aportan al desarrollo de la minería espacial. Entre los hitos claves se encuentra el de la sonda Hayabusa 2, lanzada por JAXA en 2019 para recoger muestras del asteroide Ryugu. Esta misión se desarrolló exitosamente, logrando en 2020 enviar las muestras extraídas de regreso a la Tierra. Por su parte, la NASA desarrolla la misión Psyche[45], que consiste en visitar el asteroide Psyche 16 que orbita el Sol entre Marte y Júpiter. Este asteroide es de interés porque parece ser el núcleo expuesto de un planeta primitivo, lo cual brindaría información sobre el núcleo de la Tierra -el cual no es posible estudiar directamente-. Esta será la primera misión hacia un asteroide compuesto de metal, en lugar de roca y hielo. La fecha de lanzamiento se proyecta para 2022 y llegaría al asteroide en 2026. A pesar de que el objetivo de la misión es de investigación científica, podría brindar información vital sobre el minado de asteroides. La NASA contrató a SpaceX para lanzar la nave robotizada de la misión con su cohete Falcon Heavy.

Por último, otro ejemplo de presencia gubernamental en la actividad es el caso de Luxemburgo, que logró desarrollarse como un *hub* europeo para esta industria gracias a que su legislación fomenta la llegada de *startups* y compañías dedicadas a la minería espacial en el marco de la creación en 2020 del European Space Resources Innovation Centre (ESRIC). Las políticas llevadas a cabo incluyen la conformación de un marco legal para la extracción de recursos en el espacio, el apoyo a iniciativas y nuevas empresas, y el incentivo a la transferencia de tecnología entre compañías espaciales y no espaciales.

### 2.4 Contaminación espacial y actividades para su mitigación

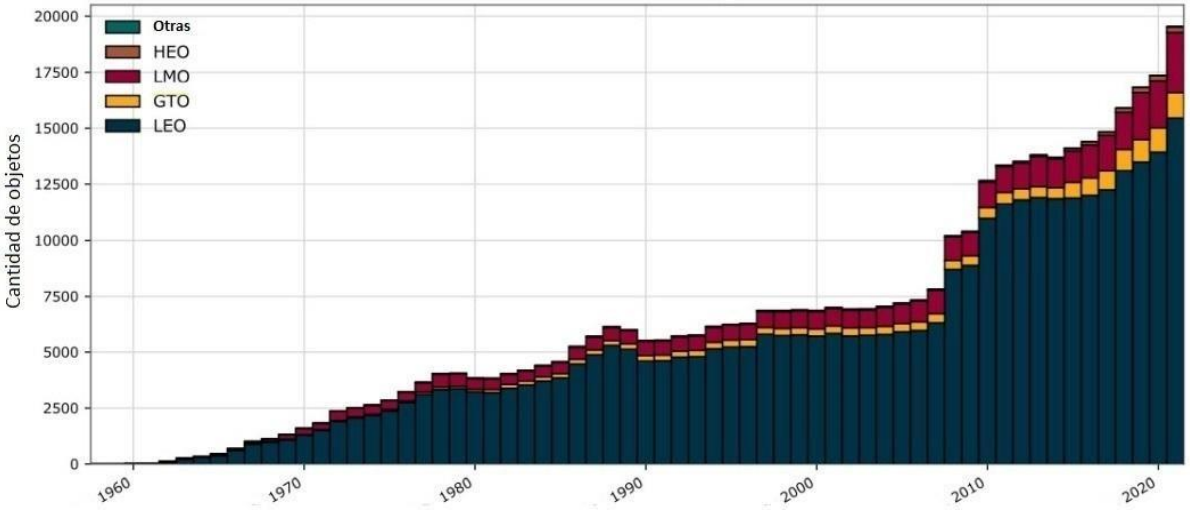
Con el paso de los años el número de objetos lanzados al espacio, como satélites, sondas, y cohetes, se ha incrementado de manera sustancial, entre varios motivos debido a que una mayor cantidad de países

[42] Ver: https://asteroidminingcorporation.co.uk/our-missions.
[43] Ver: https://www.transastracorp.com/news.
[44] Ver: https://www.transastracorp.com/apis-spacecraft.
[45] Ver: https://www.nasa.gov/mission_pages/psyche/overview/index.html.

comenzaron a incursionar en actividades espaciales y se desarrollaron nuevos tipos de satélites. Si bien los beneficios que provee el desarrollo de las actividades espaciales son inmensos, en algunos casos estas traen asociadas ciertos problemas, que a su vez dan lugar al desarrollo de nuevas tecnologías y actividades orientadas a mitigarlos. Por ejemplo, una de las dificultades más recientes y preocupantes es la contaminación lumínica de los cielos, a partir de la reflexión involuntaria de la luz del Sol con los paneles solares de los satélites de órbita baja, lo que genera distorsiones en forma de destellos en las imágenes captadas por los astrónomos. Esto ha dado lugar a que empresas como SpaceX busquen desarrollar nuevos diseños de satélites de órbita baja para reducir este problema.

Otra de las dimensiones que se ha vuelto de creciente importancia para los científicos y organizaciones espaciales en los últimos años, y que además ha dado origen a algunas iniciativas con impacto económico, ha sido el aumento descontrolado de objetos en el espacio, tales como satélites o partes de los mismos, restos de lanzadores que son dejados a la deriva -como ha ocurrido con la agencia espacial china en 2020 y 2021-, basura espacial producto de roturas accidentales de vehículos espaciales o resultado del testeo de armas anti satelitales, etc. Este fenómeno ha afectado especialmente la Órbita Terrestre Baja (LEO - *Low-Earth Orbit*), que es la más densamente poblada. De acuerdo a la base de datos de satélites de la Union of Concerned Scientists (UCS), una organización sin fines de lucro conformada por científicos profesionales de diversas áreas, de los 4.084 satélites operativos a mayo de 2021, 3.328 se encontraban en LEO. En tanto, según las cifras provistas por la ESA, el número de objetos mayores a 5 cm en LEO aumentó de aproximadamente 9.000 en 2010 a más de 15.000 en 2021 (European Space Agency, 2021). En el Gráfico 3 a continuación se muestra la evolución en los últimos 60 años de los objetos que ingresan a la órbita baja y otras.

**Gráfico 3. Penetración de objetos en órbita baja y otras (1960-2020).**




*Fuente: ESA (2021).*

*Nota: HEO hace referencia a órbitas elípticas altas (High Elliptical Orbit), GTO a la órbita de transferencia geosincrónica (Geosynchronous Transfer Orbit), y LMO a las que cruzan las órbitas terrestrse bajas y medias (Low Medium Orbits), es decir LEO (Low Earth Orbit) y MEO (MediumEarth Orbits), o las "LEO-MEO crossing orbits".*

Uno de los motivos por los cuales el aumento en la cantidad de objetos en órbita es preocupante es que las colisiones entre ellos se vuelven más probables, situación de especial preocupación si los objetos en cuestión son satélites que se encuentran en funcionamiento. Por ejemplo, la constelación de satélites Starlink de SpaceX se estima que pasa a una distancia menor a 1 km de otros satélites aproximadamente

1.600 veces por semana –téngase en cuenta que aún no ha sido lanzada la constelación entera-[46]. Una situación grave en este sentido ocurrió en 2009, con la primera colisión entre dos satélites, el satélite de telecomunicaciones, operativo al momento de la colisión, Iridium 33 de la compañía estadounidense Iridium Communications, y un satélite militar ruso en desuso, el Kosmos 2251, produciendo la destrucción total de ambos.

Esta "sobrepoblación" orbital no es solo un riesgo debido a que corre peligro la integridad de las naves, sino que también genera otras consecuencias económicas negativas, por ejemplo, debido a que los satélites tienen que realizar maniobras evasivas gastando combustible y acortando su vida útil; en otro plano, algunas empresas aseguradoras de satélites han comenzado a retirarse del mercado asegurador LEO[47]. Nada indicaría que esta tendencia creciente en la cantidad de objetos orbitando la Tierra vaya a cambiar, lo cual solo aumenta los problemas mencionados y, en el peor de los casos, podría llegar a desencadenar el llamado "síndrome de Kessler". La teoría fue desarrollada en los 70' por el astrofísico Donald J. Kessler mientras trabajaba para la NASA, y argumenta que existe un límite a la cantidad de objetos que pueden estar en una órbita, el cual una vez superado haría que cualquier colisión entre dos objetos genere una reacción en cadena de colisiones creando cada vez más basura espacial y más colisiones, volviendo a la órbita inservible y dificultando que pueda ser atravesada.

Distintas agencias internacionales y empresas privadas involucradas en el sector espacial han comenzado a tratar el tema de la contaminación orbital. En 1993 se creó el Comité Interinstitucional de Coordinación de Escombros Espaciales (IADC - Inter-Agency Space Debris Coordination Committee) del cual forman parte agencias como NASA, ESA y Roscosmos, entre otras, y tiene como objetivo facilitar la cooperación entre agencias espaciales en búsqueda de soluciones al crecimiento de la cantidad de basura espacial[48]. Otra acción en la misma dirección fue la carta dirigida a la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2021, firmada por Premios Nobel e investigadores, astronautas, oficiales de varios gobiernos y organismos de las propias Naciones Unidas, entre otros, con el objetivo de prohibir el testeo de armas anti satélites cinéticas[49]. Estas armas disparan, o bien desde la Tierra o desde otra nave en el espacio, un objeto a alta velocidad con el objetivo de que este impacte contra un satélite y lo destruya, generando miles de escombros que se desparraman en varias órbitas.

Mas allá de las iniciativas de coordinación entre agencias espaciales para solucionar el problema del crecimiento de la cantidad de basura espacial, por un lado existen proyectos concretos para sacar estos escombros del espacio, y, por otro, iniciativas orientadas a extender la vida útil de las naves en el espacio, lo que indirectamente limita el aumento de la basura espacial. A su vez, estos proyectos e iniciativas están dando lugar a la creación de nuevos mercados. Los proyectos para remoción de escombros, que surgieron esencialmente como iniciativas de agencias espaciales, ya han dado lugar a la aparición de emprendimientos privados que están desarrollando sus propias tecnologías. Estos proyectos, que aún están en fase de testeo en el espacio, a su vez demandan los servicios de empresas que proveen información espacial, por ejemplo, mapeando la posición y trayectoria de la basura en órbita. Por su parte, en cuanto a las iniciativas de extensión de vida útil, ya hay al menos una empresa privada que está prestando servicios en órbita geoestacionaria, y varios proyectos, que incluyen uno de la propia NASA, orientados a abastecer tanto la demanda del sector privado, como la de actores gubernamentales. También hay proyectos para desarrollar tecnologías de propulsión alternativas (velas solares) que les darían mayor autonomía a las naves respecto de sus requerimientos de combustible, extendiendo por tanto su vida útil potencial y a su vez retrasando la creación de nueva basura; sin embargo, debido a los desafíos tecnológicos asociados, el horizonte de implementación en este caso es bastante más incierto. A continuación, se reseña el estado actual de las actividades orientadas a remover residuos espaciales, prestar servicios en órbita y desarrollar la propulsión mediante velas solares.

**Remoción de residuos espaciales**

Hay una diferencia entre mitigar la creación de nueva basura espacial, como por ejemplo los intentos de prohibir el testeo de armas anti satélites o el uso de métodos de reabastecimiento de combustible que

[46] Ver: https://www.space.com/spacex-starlink-satellite-collision-alerts-on-the-rise.

[47] Ver: https://www.reuters.com/lifestyle/science/launching-into-space-not-so-fast-insurers-balk-new-coverage-2021-09-01/.

[48] Ver: https://www.iadc-home.org/.

[49] Ver carta en: http://outerspaceinstitute.ca/docs/OSI_International_Open_Letter_ASATs_PUBLIC.pdf.

permiten extender la vida útil de estos últimos, y los proyectos de Active Debris Removal (ADR), que tienen por objetivo remover "escombros" espaciales que se encuentran en órbita (Mark & Kamath, 2019). Existen dos maneras de lograr esto último; una es empujando los objetos hacia "órbitas cementerio"[50] o más allá de la atracción gravitacional de la Tierra, y la otra es desacelerándolos con el objetivo de que la atracción gravitacional los haga reentrar al planeta.

De acuerdo con la NASA, un proyecto de ADR debe tener en cuenta las siguientes dimensiones al momento de su planificación: el tipo de órbita en que se hará foco, el tipo de objetos que serán removidos, los impactos en el corto y largo plazo de remover estos objetos, y el método de remoción (Liou, 2010). Algunos de los métodos más desarrollados tecnológicamente son los *tether based methods* que utilizan cables metálicos (*space tethers*) para enganchar al objeto que quiere ser removido con un arpón que se dispara desde otra nave que lo remolcará. Otros métodos son los *satellite based methods*, que utilizan redes o alguna especie de brazo robótico montado en un satélite para capturar al objeto a remover o empujarlo fuera de órbita. También están los *solar sail methods* que utilizan velas solares, tecnología sobre la cual se hablará más adelante en el trabajo (Mark & Kamath, 2019).

Respecto a la situación actual de los distintos métodos de ADR, ya hay proyectos que están siendo testeados en el espacio. Por ejemplo, el proyecto RemoveDEBRIS de la Universidad de Surrey (Inglaterra), en conjunto con empresas como Airbus y AriansGroup, entre otras, consiste en el uso de un satélite de 100 kg, que fue lanzado en 2018 por SpaceX, cuyo objetivo es testear distintas tecnologías para ADR, algunas ya mencionadas, como el uso de redes o el uso de arpones.[51] Otro desarrollo importante en el área es la misión ClearSpace-1, que será llevada a cabo por ClearSpace SA, una empresa contratada por la ESA que es *spin off* de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (Suiza). La misión, que partirá en 2025, buscará remover una parte de un lanzador de Arianespace que quedó orbitando desde 2013, y más importante aún será una demostración del tipo de servicios que se podrían proveer en este incipiente mercado.

Aun cuando existe una dificultad para llegar a acuerdos entre agencias y agentes del sector espacial respecto a quien corresponden, y quien debe hacerse cargo de las distintas piezas de basura espacial, la demanda por servicios de reducción de escombros espaciales ha dado lugar al surgimiento de algunas empresas en el sector. Por ejemplo, la empresa japonesa Astroscale, fundada en 2013, fue la primera firma privada en el mercado: en Marzo de 2021 lanzó la nave ELSA-d, con el objetivo de probar distintas tecnologías para la remoción de satélites al final de su vida útil[52]. En septiembre de 2021 comenzó a funcionar la firma Privateer Space de Steve Wozniak (cofundador de Apple), la cual brindaría servicios en el sector de remoción de residuos espaciales en conjunto con la firma Astroscale, aunque aún no se han dado demasiado precisiones respecto de las actividades a desarrollar[53].

La contaminación del espacio no solo ha dado lugar a la creación de compañías de remoción de residuos, sino también a otros actores que dan soporte a estas actividades. Un ejemplo de estos encadenamientos es la firma estadounidense LeoLabs, fundada en 2016, que se encarga de mapear, mediante radares en la Tierra, la posición actual y la trayectoria en tiempo real de objetos en LEO con el objetivo de evitar colisiones o facilitar su remoción. Entre los clientes que contratan sus servicios de *tracking* hay algunos jugadores importantes, como la Agencia Espacial de Nueva Zelanda (NZSA) con quienes anunció la formalización de un contrato multi anual en 2021, o SpaceX con quienes también firmaron un contrato en 2021.

**Servicios en órbita**

Como se mencionó, otra manera de mitigar el problema de la contaminación es reduciendo la creación de nueva basura espacial, previniendo que los satélites finalicen su vida útil y se vuelvan objetos obsoletos en el espacio. Esto se puede lograr prestándoles servicios de extensión de misión, a lo cual se le suele llamar *on-orbit services*. De manera general, los servicios de extensión de misión consisten en una inspección del funcionamiento de una nave actualmente en órbita (*client*), o en alguna modificación a la misma. Estas acciones son realizadas por otra nave a la que se la llama *servicer* y puede estar

[50] Las órbitas cementerio son aquellas que se utilizan para posicionar naves, o partes de ellas, que están en desuso.

[51] Ver: https://www.surrey.ac.uk/surrey-space-centre/missions/removedebris.

[52] Ver: https://astroscale.com/elsa-d/.

[53] Ver: https://www.space.com/apple-cofounder-steve-wozniak-space-junk-company.

previamente en el espacio y lista para brindar los servicios requeridos, por lo general en las órbitas más usadas, o puede ser enviada al espacio con el objetivo de realizar una misión particular, por lo general en órbitas más lejanas o menos pobladas. Las tareas que puede realizar un *servicer* son varias y van desde la inspección detallada del estado actual del *client*, el reabastecimiento de combustible, y la reparación de partes defectuosas, hasta la actualización de partes de acuerdo a los últimos desarrollos en la Tierra. Al realizar estas tareas el *servicer* extiende la vida útil del *client*, retrasando el momento en el cual quede fuera de uso (Rapp et al., 2021).

Una de las empresas pioneras en el área de servicios *on-orbit* es SpaceLogistics, una subsidiaria del grupo estadounidense Northrop Grumman, que está llevando a cabo la primera misión comercial en la historia de servicios *on-orbit* con el remolcador espacial Mission Extension Vehicle 1 (MEV-1). Los remolcadores espaciales (denominados *space tugs* en inglés) son naves cuya función es transportar satélites entre órbitas. De esta manera, para trasladarse los satélites se valen del combustible del remolcador, el cual luego, puede ser recargado. La MEV-1 se acopló en febrero de 2020 a un satélite en Órbita Terrestre Geosincrónica (GEO -*Geosynchronous Earth-Orbit*) de telecomunicaciones de la empresa Intelsat (Intelsat IS-901) con el objetivo de cumplir con las funciones de propulsión. MEV-1 transportó el satélite de Intelsat, que se encontraba inactivo y con poco combustible, a una nueva posición GEO y en abril de 2020 este reactivó su servicio. Según lo planificado el IS-901 estará activo por otros cinco años y luego será transportado a una órbita cementerio, luego de lo cual el MEV-1 pasará a otro cliente. Otra nave de SpaceLogistics, la MEV-2, se acopló en abril de 2021 a otro GEO de Intelsat (IS 10-02), pero que en este caso sí estaba activo, y planea extender su vida útil también por cinco años.[54] Una vez finalizados estos cinco años MEV-2 podrá pasar a otro cliente ya que los vehículos MEV fueron diseñados para realizar múltiples servicios durante su vida útil, estimando que pueden brindar más de 15 años de servicios de extensión de misión antes de quedar fuera de uso. Otra empresa realizando desarrollos similares a SpacesLogistics, es la proveedora de servicios de lanzamiento estadounidense Spaceflight, que está diseñando sus propios remolcadores. A diferencia de las naves MEV, los remolcadores de Spaceflight serán enganchados al satélite desde la Tierra, con el fin de que una vez en el espacio, el remolcador traslade al satélite y luego se separen [55].

Además del desarrollo de MEV, SpaceLogistics fue seleccionada por la Agencia de Investigación en Proyectos de Defensa Avanzados (DARPA por sus siglas en inglés) de EE. UU. para desarrollar un vehículo capaz de realizar reparaciones y mejoras de satélites en GEO. El vehículo se llamará Mission Robotic Vehicle (MRV), se estima que será lanzado en 2023 y tendrá acoplados dos brazos robóticos que se encargarán de realizar las reparaciones, inspección y modificaciones necesarias antes de pasar al siguiente cliente.[56]

Otro de los grandes jugadores en este industria emergente es la NASA, que fundó en 2020 la división NASA´s Exploration and In Space Services (NExIS) para continuar la serie de logros alcanzados en las misiones tripuladas de servicios en órbita que se realizaron al telescopio espacial Hubble entre 1990 y 2009.[57] El principal proyecto de la división NExIS en 2021 es On Orbit Servicing, Assembling, and Manufacturing 1 (OSAM-1), en el cual se lanzará un *servicer* con el objetivo de reabastecer de combustible, inspeccionar y trasladar un satélite del gobierno de EE. UU. localizado en LEO. Este *servicer* tendrá dos brazos robóticos y un sistema de recarga de combustible, el cual debe ser capaz de reabastecer naves que no fueron diseñadas para ello, lo cual presenta un gran desafío dado que los tanques de combustible se encuentran extremadamente protegidos y sellados. Se estima que será lanzado en 2024 y para los años 2020 y 2021 se le aprobó un presupuesto de USD 227 millones cada año.

La firma especializada en investigación de mercado satelital y espacial Northern Sky Research estima que, para el año 2030, el valor demandado de servicios *on-orbit* podría llegar a USD 3,2 mil millones. Sin embargo, debido a las dificultades técnicas que plantea realizar servicios de extensión de misión en satélites que no fueron diseñados para ello, la industria progresa lentamente. La contracara de esto es un potencial cambio en el diseño de los futuros satélites, reduciendo la redundancia en los sistemas (por

[54] Ver: https://www.northropgrumman.com/space/space-logistics-services/.

[55] Ver más información en: https://spacenews.com/space-tugs-as-a-service-in-orbit-service-providers-are-bracing-for-consolidation/.

[56] Ver: https://www.darpa.mil/program/robotic-servicing-of-geosynchronous-satellites.

[57] Ver: https://nexis.gsfc.nasa.gov/about.html.

si algún componente falla) y la carga de combustible, lo cual disminuirá su complejidad, tamaño y peso al incorporar la posibilidad de que se les reabastezca combustible, se realicen reparaciones y se actualicen componentes una vez en el espacio.

**Velas solares**

Como hemos mencionado, entre los métodos para remoción de escombros se están desarrollando actualmente los *solar-sail methods* o métodos de velas solares, que permitirán incorporar nuevos mecanismos para que se desplacen las naves en el espacio. La propulsión mediante velas solares es una tecnología que no necesita combustible, su funcionamiento requiere de una "vela" fabricada con materiales reflectivos que se ensambla a la nave, y de una gran cantidad de luz que es provista por el Sol. La luz "rebota" en, o más precisamente los fotones chocan con, la vela generando un empuje muy pequeño, que dada la falta de fricción en el espacio, puede ser suficiente para desplazar a la nave; luego, la velocidad del desplazamiento dependerá del tamaño y masa de la nave, de la intensidad de la fuente lumínica, y del tamaño de la vela solar[58].

Se han llevado y se llevan adelante varias misiones con el objetivo de probar esta tecnología en el espacio. The Planetary Society es una organización sin fines de lucro, que busca impulsar la exploración espacial usando financiamiento de ciudadanos comunes, y llevó adelante dos misiones asociadas al desarrollo de esta tecnología en 2015 y 2019, LightSail 1 y LightSail 2 respectivamente. LightSail 1 probó el despliegue de una vela solar de 32 metros cuadrados de un nanosatélite. El satélite se posicionó en una órbita muy cercana a la Tierra; si bien se probó exitosamente el despliegue de la vela, dado que la atracción gravitacional de nuestro planeta es muy fuerte, no se pudo probar el sistema de propulsión a vela. LightSail 2, de similares características, se lanzó más lejos que LightSail 1, a aproximadamente de 700 km de la Tierra, donde la atracción gravitacional es menor y el sistema de propulsión de vela solar permitió aumentar ligeramente la distancia de la nave respecto de la Tierra. Actualmente, si bien el objetivo de demostrar la navegación de naves pequeñas mediante velas solares fue cumplido, el LightSail 2 continúa en órbita y se siguen realizando varias pruebas para mejorar su operación. El total invertido en ambas misiones fue de USD 7 millones, este monto se financió con los aportes de contribuyentes y miembros de The Planetary Society, y los servicios de lanzamientos fueron financiados por la NASA y por el Laboratorio de Investigación de la Fuerza Aérea de EE. UU [59].

Otro proyecto importante, que actualmente está siendo desarrollado y hace uso de la tecnología de propulsión con velas solares, es el Solar Cruiser de la NASA. El proyecto tiene un diseño bastante similar a los de LightSail, solo que con dimensiones mucho mayores de la vela solar, que tendrá unos 1.650 metros cuadrados permitiendo conseguir una aceleración mucho mayor. El primer objetivo del proyecto es probar el funcionamiento de una vela de ese tamaño en el espacio, y el segundo es utilizar esa gran vela para que la nave genere su propia órbita artificial, maniobrando constantemente alrededor de un punto intermedio entre la Tierra y el Sol, algo solo posible con velas solares, ya que de lo contrario se requeriría una fuente inagotable de combustible para mantener tal órbita. La misión durará diez meses, está planeada para ser lanzada en 2025 y tiene un presupuesto asignado de USD 65 millones. [60]

**2.5 Constelaciones**

**Telecomunicaciones no GEO**

Existen diversas clasificaciones para los recorridos y posicionamientos de los satélites alrededor de la Tierra. Las mismas van desde el dibujo que genera el recorrido del satélite en el espacio (circular o elíptico) o sobre la superficie terrestre, la dirección de rotación alrededor de la Tierra (posigrade o retrograde) y los ángulos de inclinación y elevación, hasta los puntos en los cuales los satélites que no circulan en órbitas ecuatoriales cruzan de un hemisferio a otro (nodos ascendentes o nodos descendentes). No obstante, la clasificación de mayor referencia es la de altura; la misma se basa en la distancia medida desde la superficie terrestre y en la cual se posicionan los satélites en el espacio. Dentro de esta clasificación podemos encontrar a los satélites en LEO, los cuales se ubican en el rango de altitud que va desde los 200 a los 1.200 km. En estas órbitas los satélites circulan a mayor velocidad que en órbitas

[58] Ver: https://www.planetary.org/articles/what-is-solar-sailing.
[59] Ver: https://www.planetary.org/sci-tech/lightsail.
[60] Ver: https://www.planetary.org/space-missions/solar-cruiser.

más altas (alrededor de 8 km/s) con tiempos de órbita cercanos a los 90 minutos. Allí se incluyen algunos satélites de telecomunicaciones, de monitoreo de la Tierra, e incluso la Estación Espacial Internacional, cuya altitud varía entre los 320 y los 400 km. Otra de las categorías es la de los satélites en GSO, cuya altitud es de 35.790 km con un tiempo de órbita de un día, aunque no necesariamente orbitan en la misma dirección que la Tierra. Un caso particular de los GSO son los satélites de Órbita Geoestacionaria (GEO -*Geostationary Orbit*-). En este caso el satélite se desplaza en el mismo sentido que la Tierra y puede ser percibido desde la superficie terrestre como un punto fijo en el espacio. Esto significa que gira a la misma velocidad angular que la Tierra y en la misma dirección sobre la línea del Ecuador. Esta órbita es la más utilizada por los satélites de telecomunicaciones, con una importancia particular para las transmisiones en vivo.

Hasta ahora los satélites de telecomunicación se han ubicado predominantemente en GEO, lo que les permite mantenerse constantemente sobre la posición de una misma antena en la superficie de la Tierra (a aproximadamente 37.590 km de distancia). La construcción de los satélites GEO de telecomunicaciones requiere de capacidades tecnológicas considerables, que solo están disponibles para algunos actores de un número reducido de países[61]. El desafío tecnológico es en parte explicado por la órbita en la cual se colocan estos satélites y por la cantidad de años durante la cual deben funcionar. Para poder ubicarse en esta órbita, por ejemplo, lo satélites deben soportar la exposición a condiciones ambientales más exigentes (e. g., temperatura, vibración, radiación), y deben llevar más combustible o una tecnología de propulsión más compleja (e. g., eléctrica) que los satélites de órbita baja. Por estos motivos, el peso y el tamaño del satélite, y la calidad de sus componentes deben ser mayores. Esto a su vez implica mayores requerimientos de potencia, de integración de subsistemas y de testeos ambientales, entre otros desafíos. Todo esto aumenta el costo y complejidad de fabricar un satélite GEO comparado con uno LEO, a lo que se suman costos de lanzamiento mayores, debido a que son más pesados y deben recorrer una mayor distancia para poder alcanzar su órbita (López et al., 2018).

Los avances tecnológicos en el sector han permitido que los servicios de telecomunicación satelital puedan brindarse a partir de constelaciones de satélites en órbitas más cercanas a la Tierra, en particular, a raíz del desarrollo que permite que los satélites que integran estas constelaciones puedan transmitirse información entre ellos. Una constelación de satélites es "un conjunto de satélites distribuidos en el espacio que trabajan coordinadamente para lograr objetivos comunes" (Wertz et al., 2011). Las constelaciones pueden variar en cantidad de satélites, el patrón que forman y el objetivo, lo que genera que sus diseños sean muy complejos y variados. Dichos satélites son más pequeños y su construcción y lanzamiento menos costosos en comparación con los satélites de telecomunicaciones que van a la GEO, y además poseen una menor latencia, es decir la señal tarda menos en viajar desde el satélite hacia la Tierra.

Los satélites en estas constelaciones orbitan a una velocidad mucho mayor que los GEO, por lo tanto, no se mantienen constantemente sobre el mismo punto en la Tierra. Esta característica permite que las constelaciones en LEO puedan brindar una cobertura global, algo que un satélite GEO no puede hacer. Además, permiten que la descarga de información desde los satélites hacia la Tierra se pueda hacer desde distintas locaciones, a diferencia de los satélites GEO que solo pueden descargar datos sobre la superficie sobre la cual ellos mismos tienen cobertura. La reducción en los costos de producción y lanzamiento propició tanto la aparición de nuevos operadores de servicios de telecomunicaciones con constelaciones de satélites en órbitas inferiores a la GEO, como que empresas operadoras o constructoras de satélites GEO de telecomunicaciones incursionen en el mercado de las constelaciones de satélites en órbitas inferiores. Es importante aclarar que también existen dificultades inherentes a este tipo de proyectos, como por ejemplo las dificultades asociadas a la menor vida útil de sus satélites, lo que conlleva a costos recurrentes de fabricación y lanzamiento de satélites de remplazo.

Una de las empresas pioneras en esta actividad ha sido la estadounidense Iridium Communications (EE. UU.), un proveedor de servicios móviles por satélite que posee la constelación Iridium NEXT con 75 satélites de comunicación operativos en órbita baja. Estos satélites fueron fabricados por Thales Alenia Space (Francia) con un costo de USD 3 mil millones, y fueron lanzados por SpaceX (EE. UU.). Esta constelación se encuentra operativa desde el 2017, cuando se lanzaron sus primeros satélites, y tuvo

[61] Argentina, China, la Unión Europea, India, Israel, Japón, Rusia y EE. UU. (López et al., 2017).

como objetivo reemplazar la constelación de primera generación de la empresa y ampliar los servicios de transferencia de datos. Aquella constelación de primera generación, que fue la primera red satelital global (Iridium)[62] y proveía servicios de telefonía usando dispositivos móviles, se había comenzado a poner en órbita a finales de la década de los 90 y sus satélites fueron construidos por las estadounidenses Motorola y Lockheed Martin. Actualmente con Iridium NEXT se suministran servicios de banda ancha y conexiones de IoT, a una velocidad de 1,4 Mb/s y a un precio mensual de aproximadamente USD 150.

Posiblemente el jugador de este mercado con mayor nivel de integración vertical y con el proyecto más ambicioso sea SpaceX con su constelación de satélites de comunicaciones en órbita baja Starlink, los cuales además son fabricados y lanzados por la propia empresa. El objetivo de la constelación, que comenzó a operar en 2018 con sus primeros 60 satélites, es dar servicios de banda ancha. A diciembre de 2021 Starlink contaba con más de 1.890 satélites operativos a los que se seguirán sumando más unidades con el objetivo de completar una constelación de 4.425 satélites. Los satélites de esta constelación tienen un peso aproximado de 227 kg y el costo que tendrá la fabricación de los 4.425 satélites de la constelación se estima en aproximadamente USD 10 mil millones. En noviembre de 2021 Starlink brindaba Internet en algunos países, como Chile, EE. UU., Gran Bretaña y México, con el objetivo de en el futuro extender el servicio a todo el mundo. Para poder acceder a su servicio de Internet se debe adquirir un kit que cuesta USD 499 y el costo mensual del servicio de Internet se estima en USD 99. El servicio de Internet de Starlink brinda velocidades que oscilan entre los 100 Mb/s y 200 Mb/s con una latencia cercana a los 20 ms, y la empresa espera disminuir la oscilación tanto de la velocidad como de la latencia a medida de que se lancen más satélites[63].[64]

OneWeb es una empresa (Gran Bretaña-India)[65] dedicada a brindar servicios de telecomunicaciones (banda ancha, 5G, conexiones de IoT, entre otros) mediante una constelación de satélites de órbita baja. A octubre de 2021 contaba con 322 satélites en órbita que fueron construidos por Airbus con un costo de construcción de USD 1 millón por unidad. La constelación se encuentra activa desde febrero de 2019 con el lanzamiento de sus primeros seis satélites[66] y, si bien a octubre del 2021 se desconocían futuras fechas de lanzamientos, OneWeb originalmente planeaba completar su constelación con un total de 648 satélites (600 operativos y 48 de repuesto) a finales de 2021. La empresa Arianespace (Francia) es quien proveyó y proveerá los servicios de lanzamiento de los satélites de la constelación. A octubre de 2021 la velocidad de Internet que proveía OneWeb iba desde los 100 Mb/s a 1 Gb/s y los precios del servicio estaban entre USD 69,99 y USD 169,99 por mes.

Un caso de actores tradicionales que incursionan con proyectos de telecomunicaciones fuera de GEO es el de la empresa SES (Luxemburgo), una operadora de satélites GEO de telecomunicaciones, con su constelación de satélites de comunicaciones en órbita media O3B. A octubre de 2021 la constelación contaba con once satélites activos, los cuales fueron lanzados por SpaceX, y se espera lanzar seis más en 2022 y otros 2 en 2024 para completar la constelación de 19 satélites en total. La empresa estadounidense Boeing tuvo y tiene a cargo la construcción de todos los satélites de la constelación. La fabricación y su lanzamiento implicarán un costo de USD 1,5 mil millones.[67] Esta constelación busca brindar servicios de Internet de banda ancha y alta calidad, y su nombre (acrónimo de Others 3 Billons) representa el número de personas que aún no tienen conectividad en el mundo y a quienes se pretende alcanzar. A octubre de 2021 el servicio de Internet de banda ancha satelital de O3B podía alcanzar los 80 Gb/s y su precio oscilaba entre los USD 71 y USD 104 mensuales.

Telesat, la operadora canadiense de satélites de telecomunicaciones en GEO, también incursionará en este nuevo segmento con su constelación de órbita baja Telesat Lightspeed, que brindará servicios de Internet de banda ancha. La empresa planea haber lanzado los 278 satélites de la constelación para 2023 comenzando sus lanzamientos aproximadamente en el cuarto trimestre de 2022. Los satélites serán construidos por Thales Alenia Space (Francia), pesarán aproximadamente 700 kg y serían lanzados por

[62] Para más información ver: https://www.iridiummuseum.com/timeline/.

[63] Todos estos datos sobre precios y servicios son a septiembre de 2021.

[64] Ver: https://www.starlink.com/.

[65] Debido a la crisis generada por el Covid-19 *Oneweb* se declaró en quiebra y fué adquirida por un monto de USD 1 mil millones por un consorcio liderado por el Gobierno de Reino Unido y que incluye a la empresa India *Bharti Global*.

[66] Ver: https://oneweb.net/launches.

[67] Para más información ver: https://www.ses.com/sites/default/files/2021-03/210322_SES-AR2020_final.pdf.

la empresa Blue Origin. Telesat estima que el costo total del proyecto Telesat Lightspeed sería de aproximadamente USD 5 mil millones.

Un ejemplo de empresas nuevas en este segmento de las telecomunicaciones satelitales es el de Amazon. La empresa fundada por Jeff Bezos[68] planea con su proyecto Amazon Project Kuiper conformar para 2026 una constelación de 3.236 satélites de telecomunicaciones en LEO, los cuales serán construidos por la propia empresa, para brindar servicios de Internet en más del 95% de la superficie terrestre. Amazon tiene planeado invertir USD 10 mil millones en la construcción de los satélites de la constelación, la encargada de ponerlos en órbita será la estadounidense ULA y se espera que el primer lanzamiento sea en septiembre de 2022. Aunque se sabe que el servicio que Amazon planea brindar es Internet de banda ancha satelital con una velocidad de 400 Mb/s, a octubre de 2021 se desconocía el precio que tendría dicho servicio.

Por su parte, el auge en los proyectos de constelaciones de satélites de telecomunicación no-GEO trae consigo interrogantes, tanto sobre la sustentabilidad económica de los mismos, como sobre sus impactos sobre otras actividades espaciales. En general, se requiere de un cierto tiempo para observar si los proyectos que implementan una nueva tecnología tienen éxito económico, y cuales logran ex-post adaptarse con éxito a las exigencias del mercado. De hecho, desde el surgimiento de las telecomunicaciones a partir de satélites geoestacionarios, varios proyectos en ese sector fracasaron económicamente, por lo que aún no está claro en qué medida esta nueva serie de proyectos de telecomunicaciones satelitales a partir de constelaciones no-GEO podrá asentarse en el mercado. Incluso tampoco parece haber certidumbre sobre en qué medida los servicios prestados por las constelaciones de telecomunicación no-GEO podrán convivir con los prestados por los satélites GEO, o si sus características técnicas llevarán a que atiendan diferentes segmentos del mercado de telecomunicaciones satelitales.

A esto se le suma que a medida que aumenta la cantidad de satélites en LEO, crece la probabilidad de que las señales de radiofrecuencia que estos transmiten hacia la Tierra interfieran con las transmitidas por los satélites GEO. Esta interferencia puede darse por varios factores, entre ellos que los satélites en LEO se encuentran entre la Tierra y los satélites GEO, orbitando a una velocidad mayor que estos últimos. Entonces es posible que los satélites en órbitas más bajas se interpongan en la señal que intercambian las estaciones terrestres con los satélites en GEO.

Ante el problema de la interferencia de señales de satélites, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) tiene un rol activo en la recomendación de prácticas a las empresas para que puedan hacer uso del espacio de frecuencias sin que se generen interferencias. En base a las recomendaciones de la UIT, las empresas están evaluando y aplicando ciertas medidas con el fin de minimizar el problema. Una de estas medidas apunta a reducir el conflicto por el uso compartido de frecuencia de los satélites en LEO y GEO, ya que usualmente utilizan las mismas bandas de frecuencia Ku/Ka. El procedimiento consta en que los satélites en LEO cambien de banda para evitar interferir con el satélite en GEO al cruzar la línea del Ecuador (sobre la que se encuentran los satélites en GEO) para luego reanudar el uso compartido de las frecuencias.

Otra medida pretende re-apuntar las señales (Beam Pointing) de las antenas. Pensemos por ejemplo en el caso del Hemisferio Norte, donde las antenas que apuntan a los satélites GEO lo hacen hacia el sur ya que estos emiten su señal hacia la Tierra desde una posición sobre el Ecuador. Entonces, para que la señal de los satélites en LEO no interfiera, o sea interferida por, la pisada generada por los satélites en GEO sobre la Tierra, el procedimiento consiste en que las antenas que se comunican con los satélites LEO apunten hacia el norte y que cuando los satélites LEO pasen por el Ecuador apaguen su *payload* y vuelvan a prenderlo una vez que hayan atravesado la pisada de los GEO. Si bien el uso compartido de bandas de frecuencia y la redirección de las antenas son posibles soluciones, no son definitivas y por ello, según información recogida a octubre de 2021, la UIT sigue trabajando con grupos de expertos y con las empresas, en estas y otras opciones para mitigar y erradicar el problema de superposición de frecuencias.

Existen algunas empresas que se encuentran desarrollando, testeando y empezando a utilizar una alternativa al uso del espectro de radiofrecuencia para la comunicación entre dispositivos; se trata de la

[68] Quien también fundó la empresa de transporte espacial Blue Origin.

comunicación o conexión vía láser. Por ejemplo, la empresa alemana Mynaric, desarrolla y fabrica productos de interconexión láser entre satélites y elementos que estén en la Tierra o sobrevolando esta, como drones y aviones. Este sistema consiste en transmitir los datos entre objetos, por ejemplo, desde satélites a otros objetos o entre los propios satélites, mediante láser sin usar el espectro de radiofrecuencia, cuyo problema de superposición de señales entre satélites se ha mencionado antes. La velocidad de la transferencia de datos en las conexiones láser de Mynaric oscilan entre los 100 Mb/s y 100 Gb/s en distancias de hasta más de 7.500 km.[69][70]

Un ejemplo de un sistema actualmente operativo es el de la asociación público-privada SpaceDataHighway[71], entre la ESA y Airbus, que utiliza terminales de comunicación láser desarrolladas por la empresa alemana Tesat-Spacecom en cooperación con el DLR alemán. Según la última información disponible a octubre de 2021, las conexiones que realiza la empresa tienen la posibilidad de transmitir datos de imagen, voz y video desde satélites en LEO usando como intermediario satélites en GEO que se comunican con estaciones terrenas en Europa a una velocidad de 1,8 Gb/s. Actualmente el servicio es utilizado principalmente por satélites de observación, que en sesiones de conexión que duran alrededor de 18 minutos en promedio permite descargar hasta 230 GB de datos. Este servicio actualmente es usado por actores institucionales como el Programa Copernicus de Observación de la Tierra de la Comisión Europea, tiene como clientes principalmente a organismos gubernamentales y de defensa, y recientemente ha acumulado más de 50.000 conexiones exitosas. Este tipo de tecnología láser para la interconexión de satélites y dispositivos sigue en prueba y se busca optimizar su funcionamiento a futuro.

**Internet of Things**

Aunque no existe un consenso sobre su definición, nos podemos referir a IoT como la agrupación e interconexión digital de dispositivos, objetos físicos y virtuales a través de una red, ya sea privada o pública, en la cual estos se podrían identificar e interactuar. Los objetos o dispositivos comprendidos en el mundo de IoT pueden ser tan variados como sensores, prendas de vestir, e incluso programas de aprendizaje automático. En el caso de los objetos físicos, estos poseen un software embebido que les permite, además de la interacción entre ellos, realizar varias acciones a partir del aprendizaje y procesamiento de la información recibida o mediante órdenes remotas. Actualmente existen varios servicios de Internet que son considerados seguros para llevar adelante este tipo de interacciones (Haller et al., 2009).

Existen diversas aplicaciones de IoT que abarcan desde tareas en el hogar hasta actividades industriales y automatización de ciudades. La aplicación de IoT para la automatización en el hogar se denomina domótica y sirve para realizar tareas como el control de temperatura, o de las luces y persianas de una vivienda mediante otro dispositivo como un teléfono móvil. La aplicación de IoT en la industria se denomina Industrial Internet of Things (IIoT) o industria 4.0 y sirve para la automatización de la producción o fabricación inteligente. En la automatización de ciudades o Smart Cities se utilizan entre otras, aplicaciones para el control del tráfico y del transporte público, y en la automatización de edificios o Smart Buildings se utilizan aplicaciones como las del control del suministro de agua y de la calefacción. A estas se le suman otra variedad de aplicaciones como la monitorización biométrica y la geolocalización de ganado.

La variedad de aplicaciones de IoT se debe en gran parte a la ductilidad que presentan los circuitos integrados que interconectan los dispositivos u objetos, ya que estos circuitos son pequeños y presentan un bajo consumo energético. Los circuitos integrados implementados en IoT contienen todos, o la mayoría de, los módulos que necesita una pequeña computadora para funcionar y estos circuitos se suelen denominar *System on Chip* (SoCs). Los principales fabricantes de estos circuitos son ARM (Reino Unido), Intel (EE. UU.), MediaTek (Taiwan), Qualcomm (EE. UU.) y Samsung (Corea del Sur). También existen alternativas menos sofisticadas y consideradas *Commercial off-the-Shelf* (CotS) y por tanto más baratas, como las placas integradas de la estadounidense Arduino.

[69] Para más información ver: https://mynaric.com/technology/overview/.

[70] Ver: https://mynaric.com/products/space/.

[71] Ver: https://www.airbus.com/space/telecommunications-satellites/space-data-highway.html.

En cuanto a la dimensión de la IoT, Statista reporta en su portal que a finales de 2018 había 22 mil millones de dispositivos conectados a redes IoT, y se espera que para el 2025 esa cifra llegue a aproximadamente 38 mil millones. En cuanto a los ingresos globales de IoT, según el medio especializado Business Insider, estos superaron los USD 212 mil millones en 2020 y se espera que el mercado de IoT supere los USD 3 billones para el año 2026. En cuanto a la inversión, según el medio especialista Gigabite, se espera que las empresas inviertan alrededor de USD 15 billones en tecnología vinculada a IoT para el año 2025. Además, según Forbes, las fábricas inteligentes podrían llegar a tener una valuación de USD 500 mil millones en 2022. El sector de IoT también se vio influenciado por el impacto de la pandemia de Covid-19 debido al cambio en las prioridades de inversión de las empresas. Una encuesta realizada por Gartner en 2020, reveló que luego del inicio de la pandemia, casi la mitad de los encuestados consideraron prioritario el incremento de las inversiones en IoT para reducir costos en los procesos de producción.

Debido a que sólo el 25% de la superficie terrestre cuenta con torres de telefonía que permiten la interconexión entre dispositivos, es difícil establecer conexiones en áreas remotas como zonas rurales o marítimas. Esto generó la necesidad de que las redes de 5G evolucionen para brindar soluciones a este problema, para lo que se comenzó a transmitir la señal de algunas de estas redes mediante pequeños satélites, posibilitando la interconexión de los dispositivos en el mundo de IoT aun en zonas remotas. El servicio de 5G por vía satelital se brinda mediante pequeños satélites en LEO del tipo CubeSats.[72] Este servicio se presta en constelaciones, las cuales tienen un costo menor a los satélites de comunicaciones convencionales en GEO; un ejemplo de esto es la constelación ELO de Eutelsat (operador francés de satélites en GEO), que estará compuesta por 25 satélites en LEO, con un costo aproximado por unidad menor al millón de euros. Estos satélites serán fabricados por las empresas Loft Orbital (EE. UU.) y Clyde Space (Reino Unido). En abril de 2021 se lanzó un satélite de prueba (ELO Alpha) con las características técnicas que tendrán los satélites de la constelación, y se esperaba continuar con el lanzamiento del resto durante 2022. [73]

En tanto, la *startup* estadounidense Swarm planeaba completar una constelación de 150 pico satélites[74] para IoT a finales de 2021, para cuyo desarrollo en 2019 recaudó USD 25 millones de varios inversores. Los primeros 12 satélites fueron lanzados por la francesa Arianespace en 2020 y los lanzamientos posteriores fueron realizados por SpaceX, el último de los cuales fue en enero de 2021, poniendo en órbita 36 pico satélites que completan una red de 81 satélites operativos. Actualmente la compañía se encuentra brindando servicios de conectividad con un costo de USD 5 mensuales y vendiendo los módems para la recepción del servicio a un costo unitario de USD 119.

Otra *startup* del sector es la holandesa Hiber fundada en 2016, que busca establecer una red global de bajo consumo para IoT denominada Hiberband, para cuyo desarrollo recibió un aporte monetario de la Unión Europea de aproximadamente 2,5 millones de euros. Actualmente cuenta con dos nanosatélites activos del tipo Cubesat, los cuales fueron lanzados en 2018 uno por la ISRO y otro por SpaceX. Desde 2019 estos satélites se encuentran brindando servicios de conectividad en fase de prueba, y aunque se desconoce la fecha exacta para los próximos lanzamientos, Hiber planea poner en órbita 12 satélites adicionales antes de junio del 2022.

Sateliot (España) es una empresa española que planea conformar y operar una constelación de 20 nanosatélites con el fin de facilitar las telecomunicaciones bajo el protocolo 5G de IoT. La construcción de los satélites está a cargo de la empresa Open Cosmos (Gran Bretaña), y se estima que la inversión total para fabricar la constelación será de aproximadamente 100 millones de euros. Hasta el momento sólo se lanzó el primer nanosatélite de la constelación, tarea que estuvo a cargo de la empresa lanzadora de satélites rusa Starsem; se espera que aquella esté completa y funcionando en su máximo rendimiento para el año 2023.

[72] Son nanosatélites (menos de 10 kg) que se distinguen por conformarse a partir de unidades estándar de CubeSat (que tienen una estructura cúbica de 10x10x10 cm con una masa que va de 1 a 1,33 kg). Al ser una clase de satélite estandarizada, es posible utilizar componentes comerciales que permiten una reducción en los costos de construcción.

[73] Ver: https://www.capital.fr/entreprises-marches/fiche-societe-eutelsat-1421021.

[74] Los picos satélites son satélites que se caracterizan por tener un peso de entre 100 gramos y un kilogramo.

También hay una *startup* argentina que está incursionando en el sector. Se trata de Innova Space, que planea lanzar una constelación de alrededor de 100 pico satélites del tipo PocketQube[75], cada uno con un costo aproximado de USD 100 mil; SpaceX realizará el lanzamiento de un demostrador tecnológico de la constelación en enero de 2022. Esta *startup* marplatense fue ganadora del primer premio a la innovación del Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de Argentina en 2019 y en 2020 accedió a un aporte no reembolsable de aproximadamente 14,5 millones de pesos por parte del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. Innova Space surgió a partir del proyecto de un grupo de estudiantes de la Escuela de Educación Secundaria Técnica N°5 Amancio Williams de Mar del Plata que desarrolló el pico satélite para IoT Sat Duino como proyecto final del último año de su formación.

Además de iniciativas como esta, con la cual los alumnos de una escuela técnica comenzaron a incursionar en el área de IoT satelital, existen otros proyectos en los cuales participan estudiantes universitarios y que están orientados a distintas actividades vinculadas a la industria satelital. Un ejemplo de esto es el de los estudiantes de la Universidad Nacional de San Martin (UNSAM), que ganaron el concurso Open Space en 2020, patrocinado por Satellogic, junto con el apoyo de otras entidades como INVAP[76], el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), y Academia Exponencial[77]. El concurso tuvo la participación de 300 jóvenes menores de 25 años de distintas partes del país y consistía en desarrollar un módulo para ser integrado a uno de los próximos satélites a lanzar por parte de Satellogic. Los ganadores fueron dos equipos, "To Infinity and Beyond" integrado por estudiantes de la UNSAM, la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y la UBA, y "Space Shielding", integrado por estudiantes de la UNLP, UTN, y la Universidad Católica de la Plata (UCALP).

El módulo desarrollado por el equipo "To Infinity and Beyond" será un *digital twin*[78], cuya función es captar la mayor cantidad de datos posibles respecto a la temperatura, presión y otras condiciones del espacio, para que después esos datos puedan ser replicados con precisión por una computadora y sean usados para testeos virtuales en la Tierra. A partir de los logros conseguidos por su equipo y de la vinculación con Satellogic a través del concurso, la UNSAM dio comienzo a un proyecto propio, llamado Proyecto Focus, con el objetivo de desarrollar un pequeño radar de banda X para ser colocado en uno de los satélites de la empresa. Por su parte, el módulo desarrollado por el equipo "Space Shielding" para el concurso Open Space, servirá para probar la efectividad de un escudo protector de componentes electrónicos frente a la radiación, lo cual, de ser efectivo, permitiría abaratar los costos futuros de los satélites comprando componentes más baratos.

**Imágenes**

La expansión de los proyectos de constelaciones, habilitada gracias a los bajos costos de los satélites pequeños (Abdelkhalik et al., 2005) y la reducción en los costos de lanzamiento en los últimos años, ha llevado a un aumento en el número de satélites de observación y a la consecuente baja de los tiempos de revisita (acortando el tiempo en el cual se toman imágenes de un mismo punto). A su vez el agrupamiento de satélites en constelaciones permite que aumente la extensión de la cobertura al crecer el ancho de barrido con más unidades, y también permite que se incremente la flexibilidad para adaptar las misiones a los requisitos de los clientes (Madoery et al., 2016).

Otro aspecto que ha contribuido a mejorar los servicios brindados por las constelaciones de satélites de observación es la implementación de herramientas de *machine learning* que permiten analizar gran cantidad de imágenes en detalle, obteniendo de esa manera una mayor cantidad de información. En otras palabras, las mismas imágenes son más valiosas que cuando se examinaban manualmente porque

[75] Los PocketQube son un tipo de pico satélites, cuya característica principal es que presentan una masa de aproximadamente 250 gramos y tienen forma de cubo con un tamaño de 5 centímetros en cada uno de sus lados.

[76] INVAP (cuyo nombre inicial fue Investigaciones Aplicadas), es una empresa del Estado perteneciente en un 100% a la provincia de Río Negro. Si bien la empresa inicialmente se concentró en el área nuclear, como proveedor de reactores (llave en mano), con el paso del tiempo incursionó en diversos sectores, como el aeroespacial, donde actualmente genera proyectos satelitales completos; a excepción del lanzamiento, sus tareas abarcan desde el concepto de la misión hasta la puesta en órbita del satélite y su operación.

[77] Academia Exponencial es un programa de conferencias para jóvenes y educadores cuyo objetivo es difundir el potencial de las nuevas tecnologías.

[78] Un *digital twin* o "gemelo digital" por su traducción al español, es un dispositivo que simula el funcionamiento de un sistema físico basado en la recopilación de una gran cantidad de data pasada del mismo.

ahora hay algoritmos de *machine learning* que permiten extraerles predicciones y características claves rápidamente (Magliarditi, 2020). Dentro de las aplicaciones para las imágenes tomadas desde constelaciones satelitales están la agricultura de precisión[79], el planeamiento urbano, la asistencia en catástrofes y el análisis del cambio climático. Según cual sea el objetivo de la misión será necesario enviar satélites con distintos tipos de instrumentos o sensores multiespectrales que sean capaces de obtener información sobre los fenómenos de interés. Por ejemplo, los datos ópticos e infrarrojos cercanos permiten visualizar los usos de la tierra y las sequías, pero para monitorear áreas inundadas o ciclones se pueden utilizar sensores de microondas, y para incendios o volcanes se requieren imágenes térmicas.

En los últimos años varias empresas y *startups* han conseguido un lugar en el mercado gracias a que el equipamiento de sus satélites con tecnología especializada y la cantidad de satélites en sus constelaciones les permite aumentar el tiempo de revisita sobre los puntos de interés. Por ejemplo, la compañía estadounidense Planet Labs, fundada en 2010, posee actualmente dos constelaciones en LEO con un total de más de 150 satélites que toman imágenes en alta resolución. Las constelaciones operativas en este momento son Dove y SkySat y trabajan en conjunto: mientras que un satélite de Dove es capaz de fotografiar una ciudad entera, el de SkySat puede tomar imágenes de determinadas áreas de interés de la misma ciudad.[80] De esta manera, proporcionan información sobre el clima, el uso del suelo, deforestación, planificación urbana y predicción de cosechas. Entre sus clientes se destacan la NASA, la compañía multinacional de agroquímicos y semillas Corteva Agriscience y diversos organismos gubernamentales de control. La *startup* británica Earth-i es otra empresa que provee datos obtenidos de sus constelaciones de satélites de observación y servicios de análisis en base a inteligencia artificial. Sus satélites pueden tomar videos en alta resolución proveyendo servicios de monitoreo marítimo, planificación urbana, respuesta a desastres naturales y defensa y seguridad, entre otros. Su primer satélite, VividX2, fue lanzado en junio de 2018 y actualmente cuenta con cuatro constelaciones que suman más de 20 satélites en la órbita baja[81].

También hay una empresa argentina que ha incursionado en el sector; se trata de Satellogic, fundada en 2010, que provee servicios de imágenes con nanosatélites en LEO. Satellogic se encuentra verticalmente integrada incluyendo el diseño, fabricación, operación de los satélites y el procesamiento de las imágenes para ofrecer el servicio final, permitiéndole reducir costos y ganar competitividad (Lattenero, 2021). A diciembre de 2021 contaba con 17 satélites que tienen la capacidad de realizar hasta 4 revisitas diarias de los puntos de interés para prestar servicios de monitoreo de desarrollo de infraestructura, agricultura, forestal, oleoductos y yacimientos, entre otros usos.

Recientemente ha tomado protagonismo el lanzamiento de satélites con tecnología de Radares de Apertura Sintética (SAR – *Synthetic-Aperture Radar*) que permite, mediante el envío de microondas, obtener imágenes de alta resolución que se pueden tomar tanto de día como de noche sin importar la situación meteorológica[82]. Por ejemplo, la empresa finlandesa Iceye, fundada en 2014, monitorea el cambio climático y desastres naturales por medio de satélites de menos de 100 kg equipados con SAR. A finales de 2021, la empresa ya había lanzado 14 satélites a LEO y planea expandir su constelación a más de 18 unidades para 2022[83]. Entre sus clientes se destacan la ESA, ExxonMobil, y la compañía Spire.

En el mismo rubro se encuentra la empresa estadounidense Capella Space que toma imágenes con SAR y es capaz de enviar las imágenes a los clientes con solo 30 minutos de *delay*. El objetivo de la empresa es lograr una alta frecuencia, con una constelación de 36 satélites en LEO, para poder responder a los pedidos de imágenes de los clientes en minutos con una revisita de menos de una hora. Entre sus principales clientes se encuentran los organismos de la Fuerza Aérea de los EE. UU. y la Oficina Nacional de Reconocimiento estadounidense.

[79] La agricultura de precisión ha sido definida como un "grupo de tecnologías que permiten la aplicación de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas, plaguicidas, etc., en forma variable dentro de un potrero, de acuerdo a los requerimientos y/o potencial productivo de varios sectores homogéneos, predefinidos dentro del mismo" (Ortega B. et al., 1999, p. 1).

[80] Ver: https://www.planet.com/our-constellations/.

[81] Ver: https://earthi.space/constellations/.

[82] Ver: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_ES/SEMVKXF64RH_0.html.

[83] Ver: https://www.iceye.com/sar-data/orbits.

También hay empresas de otros segmentos del sector aeroespacial que se han expandido a estas actividades; tal es el caso de Airbus, empresa fabricante de aviones fundada en 1970 que ha incorporado su propia constelación para la observación de la Tierra. La misma contaba a diciembre de 2021 con 16 satélites de imágenes en LEO, de los cuales 13 poseen instrumentos ópticos de observación y 3 están equipados con SAR[84]. Airbus fabrica y opera los satélites y, en colaboración con empresas como Orbital Insight y Hawkeye 360, provee servicios de inteligencia para el análisis de las imágenes obtenidas. Con el análisis de las imágenes se desarrollan herramientas que les permiten a sus usuarios mejorar la gestión de los recursos naturales, monitorear construcciones, responder a desastres y proteger el medio ambiente. Entre sus clientes podemos mencionar a The Ocean Cleanup, una empresa de extracción de residuos del océano, y a Simplot del sector de agronegocios.

No solo las empresas privadas se encargan de la recolección de imágenes; varias organizaciones gubernamentales y no gubernamentales tienen sus propias constelaciones para la detección temprana de catástrofes naturales, como actividad volcánica, ciclones, incendios, inundaciones y terremotos, y la prevención de hambrunas mediante el estudio de las cosechas y el control de plagas. La información brindada es útil para el desarrollo de políticas de mitigación en el largo plazo, preparación cuando el desastre es inminente, respuesta luego del desastre y recuperación mediante la reconstrucción. Por ejemplo, los satélites del Instituto de la ONU para la Formación y la Investigación (UNITAR) rastrean la destrucción de patrimonio cultural, las consecuencias de la guerra y la devastación por catástrofes meteorológicas. En el caso del conflicto sirio estos satélites brindaron información para localizar los refugios y enviar ayuda humanitaria a esos sectores específicos.

La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), también posee satélites de observación que incorporan la tecnología SAR antes mencionada. El sistema denominado SAOCOM, por Satélite Argentino de Observación con Microondas, está actualmente compuesto por dos satélites, el SAOCOM 1a lanzado en 2018 y el SAOCOM 1b lanzado en 2020[85]. Estos satélites son idénticos, están equipados con SAR y tienen por objetivo medir la humedad del suelo y ser utilizados en emergencias como derrames de hidrocarburos o inundaciones. Actualmente la empresa VENG[86], el brazo comercial de la CONAE, es quien comercializa las imágenes de los satélites, los cuales tendrán una segunda edición cuando, según los planificado, en unos años se pongan en órbita dos satélites más, los SAOCOM 2.[87]

**2.6 Servicios comerciales de lanzamiento**

El mercado de lanzamientos de satélites ha mostrado un gran dinamismo en los últimos años; si bien los costos de lanzamiento siguen siendo altos, se han generado mejoras sustanciales en esta materia. Algunos de los factores que explican la reducción de los costos de lanzamiento son el enfoque competitivo que ha propuesto la NASA para la provisión de servicios de lanzamiento, y las innovaciones que permitieron la reutilización de cohetes y sistemas completos de lanzamiento, en particular desde la introducción del lanzador Falcon 9 de SpaceX en 2010. Por ejemplo, el costo del lanzamiento del Space Shuttle de la NASA a LEO en los años 80/90 era de aproximadamente USD 1,5 mil millones, mientras que el Falcon 9 de SpaceX ofrecía precios de aproximadamente USD 62 millones en 2018 (Jones, 2018). En 2020 en el mundo se han realizado 114 lanzamientos, aproximadamente el doble que en 2004, 44 de los cuales fueron realizados por EE. UU., y 39 por China (ver Gráfico 4). Del total de lanzamientos en 2020, 83 fueron a LEO, y 31 a otras órbitas; una de las más comunes es la Órbita de Transferencia Geosincrónica (GTO - *Geosynchronous Transfer Orbit*) donde la carga comienza un proceso de orbitación y cambio de órbita cíclico hasta alcanzar la GEO.

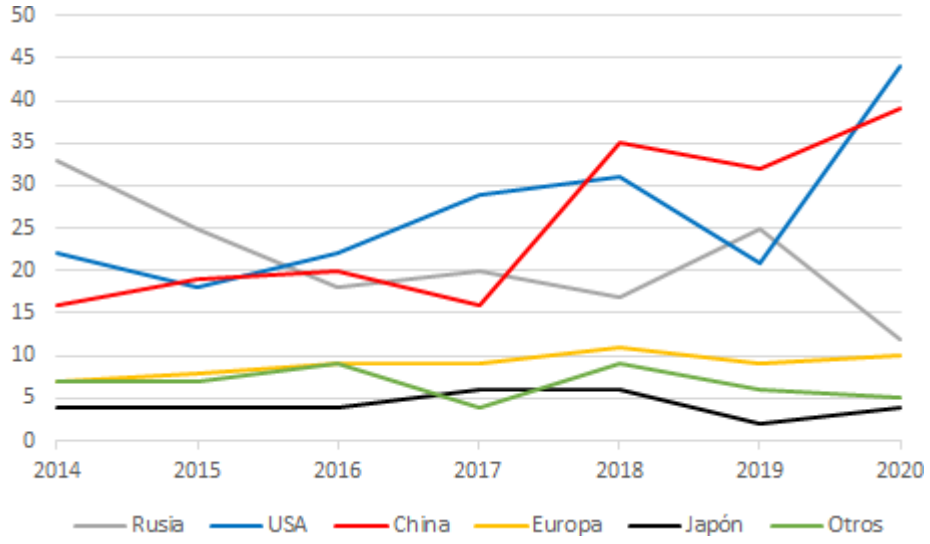
[84] Ver: https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/constellation/.

[85] Ver: http://saocom.invap.com.ar.

[86] Previamente esta empresa estaba abocada a realizar desarrollos en el marco de los planes de acceso al espacio de la CONAE.

[87] Ver: https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/saocom.

**Gráfico 4. Evolución de lanzamientos (2014-2020).**




*Fuente: Sitio web Space Launch Report: www.spacelaunchreport.com/.*

*Nota: en la categoría otros se incluyen lanzamientos realizados por India, Israel, Ucrania, Nueva Zelanda y Corea del Norte.*

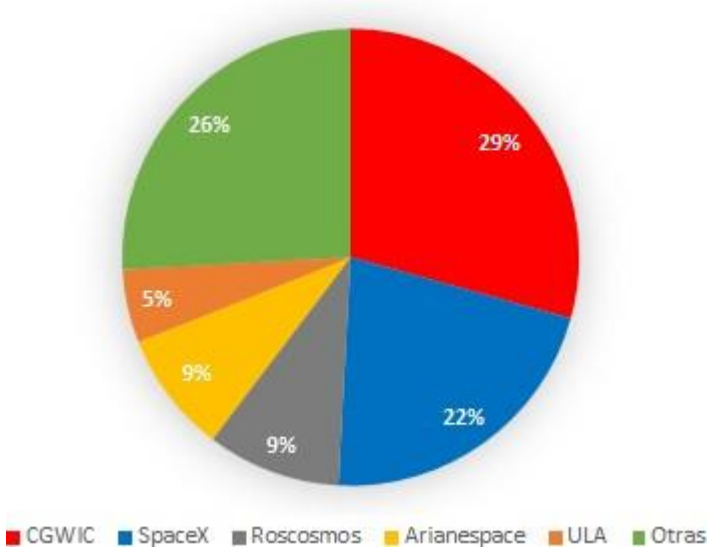
Entre los actores que proveen servicios de lanzamiento existen firmas estatales, privadas y mixtas, que poseen diferentes niveles de integración vertical, donde algunas diseñan y ensamblan sus vehículos de lanzamiento y hasta fabrican sus partes y motores. Tal es el caso de SpaceX, que actualmente opera dos vehículos lanzadores desarrollados y fabricados por la propia firma, así como también sus motores. Otro caso de empresa altamente integrada, pero de naturaleza estatal, es el China Great Wall Industry Corporation (CGWIC), subsidiaria de China Aerospace Science and Technology Coorporation (CASC), que es controlada por el gobierno chino. CGWIC opera los lanzadores Long March, los cuales son desarrollados, tanto el vehículo como los motores, por otras dos entidades que también dependen de CASC[88].

Otro actor con alto nivel de integración, y de especial relevancia, ya que provee servicios de lanzamiento a la ESA, es ArianeGroup. Si bien el grupo es privado, y sus accionistas mayoritarios son Airbus y el grupo empresarial francés especializado en aeronáutica Safran, su firma subsidiaria Arianespace, que se encarga de brindar los servicios de lanzamiento, también cuenta con algunos estados europeos como accionistas. Entre los ejemplos de integración vertical de ArianeGroup se encuentra el desarrollo del motor Vulcain para el cual Safran fue la principal contratista. Este motor se utiliza en dos vehículos, para cuyo desarrollo se eligió a Airbus como principal contratista; se trata del Ariane 5, hoy en uso, y el Ariane 6, actualmente en desarrollo.[89] Un caso con un nivel de integración un poco menor es el de ULA, una compañía controlada por Boeing y Lockheed Martin que provee servicios de lanzamiento a clientes como NASA y el Departamento de Defensa de EE .UU., y desarrolla sus propios vehículos, como el Atlas V, pero con un menor nivel de integración que otras compañías mencionadas, ya que por ejemplo también usa un motor desarrollado por la compañía rusa RD Amross[90]. Por último, otro caso interesante es el de un lanzador que es usado por más de una organización. Se trata de Soyuz que, habiendo sido

[88] Ver: http://english.spacechina.com/n16421/n17215/n17269/c2427295/content.html.
[89] Ver: https://www.ariane.group/en/about-us/our-shareholders/.
[90] Ver: https://www.ulalaunch.com/.

desarrollado por una compañía estatal rusa (TsSKB-Progress), además de ser utilizado por la agencia rusa Roscosmos, también es empleado por Arianespace.

**Gráfico 5. Distribución de los lanzamientos por actores en 2020.**




*Fuente: elaboración de los autores en base reportes trimestrales en sitio web BryceTech: www.brycetech.com/.*

*Nota: dentro de "Otras" se incluyen Rocket Lab, Mitsubishi Heavy Industries, ISRO, y Northrop Grumman, entre otras.*

En 2020 el mercado de lanzamientos generó ingresos por USD 5,3 mil millones (SIA, 2021). En ese año la empresa CGWIC fue la que más lanzamientos hizo, contabilizando 34; en segundo lugar se ubicó SpaceX que realizó 25, y en tercer y cuarto lugar estuvieron Roscosmos y Arianespace con 11 y 10 lanzamientos respectivamente. En el Gráfico 5 podemos observar la distribución por actores de los lanzamientos realizados en 2020. A continuación se reseñan las características principales de los cuatro actores qué más lanzamientos realizaron en 2020, y de ULA por su relevancia como proveedor de la NASA.

CGWIC es una empresa china que funciona como brazo operativo de la empresa estatal CASC; después de 20 años[91] realizando servicios de lanzamiento solo para el gobierno, en 1990 se convirtió en la única empresa autorizada por el gobierno para prestar estos servicios de manera comercial[92]. Hasta diciembre de 2021 había realizado más de 399 vuelos con su serie de 9 [93] cohetes Long March, de los cuales los que están actualmente operativos tienen una capacidad máxima de lanzamiento a LEO de 25.000 kg y a GTO de 14.000 kg. La serie de cohetes Long March que utiliza CGWIC son desarrollados y fabricados por dos entidades públicas que dependen de la CASC, la Academia de Tecnología de Vuelo Espacial de Shanghai (SAST - Shanghai Academy of Spaceflight Technology) y la Academia de Tecnologías de Lanzamiento de Vehículos (CALT - China Academy of Launch Vehicle Technology). Los lanzamientos se realizan desde cuatro centros en China; en Jiuquan, Taiyuan, Xichang y Wengchang. Entre los principales clientes de la CGWIC se encuentran Thales Alenia Space (Francia), EADS Astrium (Francia), y Space System / Loral (EE. UU.).

SpaceX, fundada en 2002, actualmente cotiza en la bolsa de EE. UU. con una valuación de mercado que a octubre de 2021 era de USD 100 mil millones, y su accionista principal es su fundador Elon Musk[94]. La empresa, que comenzó realizando pruebas de sus cohetes en 2008 y recién en 2010 logró hacer su primer lanzamiento exitoso tras tres intentos fallidos, actualmente se dedica a prestar servicios de

[91] Su primer lanzamiento había sido en 1970.
[92] Para más información ver: http://www.cgwic.com/About/index.html.
[93] Ver: https://www.spacelaunchreport.com/.
[94] Elon Musk también fundó otras empresas importantes como PayPal, Tesla Motors, y OpenAI.

lanzamientos a distintas órbitas e incluso ha logrado enviar carga útil a Marte. A esto se le suma una reciente notoriedad por realizar vuelos tripulados y de turismo espacial. Para prestar los servicios de lanzamientos actualmente emplea dos cohetes, el Falcon 9 y el Falcon Heavy que utilizan los motores Merlin y Merlín Vacuum, todo esto desarrollado por la propia empresa. El primero de ellos puede transportar hasta 23.000 kg de carga a LEO, 8.300 a GTO y 4.000 a Marte. Por su parte, el Falcon Heavy puede transportar 64.000 kg a LEO, 26.700 a GTO y 16.800 a Marte. Una particularidad de estos lanzadores es que son parcialmente reutilizables; cuentan con dos etapas, de las cuales la primera (que en el caso del Falcon Heavy son tres cohetes) se separa del resto del cohete y activa sus propulsores para girar y aterrizar en plataformas, algunas de las cuales suelen ser barcazas, llamadas drones, que se ubican en el océano. Hasta mediados de diciembre de 2021 se registraron 97 regresos a la Tierra de etapas de los cohetes utilizados por SpaceX para sus lanzamientos.[95] Los lanzamientos se realizan desde el Kennedy Space Center, en Florida y desde el SpaceX Brownsville en Texas y los drones en los cuales aterrizan algunas de las primeras etapas se ubican en el puerto de Long Beach, California, EE. UU. Al 15 de diciembre de 2021 la empresa llevaba realizados 140 lanzamientos exitosos[96], de los cuales 2 fueron con el lanzador Falcon 1 (que ya no se encuentra operativo), 131 se realizaron con el Falcon 9 y 3 con el Falcon Heavy. La empresa cobra un precio de USD 62 millones por cada lanzamiento del Falcon 9 y de USD 90 millones por cada lanzamiento del Falcon Heavy, y registraba al año 2020 un ingreso anual estimado en USD 1,2 mil millones.

Gk Launch Services se encarga de brindar servicios comerciales de lanzamiento con el lanzador Soyuz-2 desde las bases espaciales rusas. La empresa fue fundada en 2017 y es un *joint venture* entre la empresa privada International Space Company Kosmotras (25%) y la empresa estatal rusa Glavkosmos (75%), que es una subsidiaria de la agencia espacial Roscosmos, actuando como brazo operativo para realizar sus lanzamientos. El lanzador Soyuz-2, fabricado por la empresa estatal rusa TsSKB Progress, puede llevar hasta 4.400 kg de carga útil a LEO y 2.720 a GTO. Soyuz-2 fue fabricado en base a la familia de cohetes Soyuz, que a su vez derivaron como mejoras tecnológicas de la familia de lanzadores R-7 que protagonizaron el inicio del programa espacial soviético y uno de los cuales puso en órbita en 1957 al primer satélite de la historia, el Sputnik 1. Los lanzadores de esta familia Soyuz también son utilizados para llevar carga, insumos y astronautas a la ISS[97]. Teniendo en cuenta toda la familia de cohetes Soyuz, que también son utilizados por Arianespace, desde su primer modelo en 1963 y, hasta 2021 se habían realizado más de 1.900 lanzamientos exitosos. En particular, contabilizando hasta el último lanzamiento en diciembre de 2021 que colocó en órbita los satélites de comunicaciones rusos Ekspress-AMU3 y Ekspress-AMU7, la empresa de GK Launch Services realizó 67 lanzamientos con el cohete Soyuz-2.[98] Estos lanzamientos se realizan desde tres plataformas diferentes, ubicadas en Vostochny y Plesetsk (Rusia), y Baikonur (Kazajistán).

Arianespace, fundada en 1980, está en manos de varias empresas privadas[99] y presta servicios comerciales de lanzamientos de satélites a LEO y GTO a varios clientes importantes como la ESA y SES. Para realizar los lanzamientos, la empresa cuenta actualmente con tres vehículos operativos[100]: el VEGA, que se utiliza para lanzar cargas útiles pequeñas y medianas de hasta 1.500 kg a 700 km, en cuya fabricación participan varias empresas europeas de las cuales el principal contratista es la italiana Avio; el Soyuz, que se utiliza como lanzador de cargas medianas de hasta 3.250 kg a GTO y 4.850 a LEO, y su fabricación está a cargo de varias empresas europeas y rusas; y el Ariane 5, que es un lanzador pesado que puede llevar hasta diez toneladas métricas de carga útil a GTO y 20 a LEO, en cuya fabricación participan varias empresas, de las cuales el principal contratista es ArianeGroup, quien controla a Arianespace.

Para 2022 la empresa planea tener en funcionamiento dos lanzadores más, el Vega C capaz de transportar 3.300 kg a LEO y 2.300 kg a la órbita heliosincrónica, y el Ariane 6 que en su versión comercial podrá transportar hasta 21.600 kg a LEO y hasta 11.500 kg a GTO. Los lanzamientos se

[95] Ver: https://www.spacex.com/media/Capabilities&Services.pdf.

[96] Ver: https://www.spacexstats.xyz/#launchhistory-per-year.

[97] Para más información ver: http://gklaunch.ru/en/company/.

[98] Para más información ver: http://en.roscosmos.ru/launch/2021/ y http://gklaunch.ru/en/soyuz/.

[99] Las más relevantes son las francesas ArianeGroup, Air Liquide S.A., Clemessy S.A., y Compagnie Deutsch SAS.

[100] Ariane 5, Soyuz, Vega, Vega C y Ariane 6 (en fabricación hasta finales de 2022).

realizan desde el puerto espacial de la Guayana Francesa, donde gracias a su posición cercana al Ecuador se reduce el trayecto de los lanzamientos cuya carga se dirige a GEO, y desde el cosmódromo de Baikonur en Kazajistán. Según información de su sitio web la empresa cuenta con 220 empleados y en 2019 tuvo ingresos mayores a los mil millones de euros.[101] Hasta diciembre de 2021 la empresa había lanzado 1.064 satélites al espacio[102], y según la información disponible Arianespace cobra en promedio[103] aproximadamente USD 177 millones por lanzamiento en el caso del Ariane 6.

Finalmente, ULA es una empresa estadounidense propiedad de Boeing y Lockheed Martin, quienes la fundaron en 2006. Desde su primer lanzamiento en 2006 y hasta diciembre de 2021 la empresa había realizado 145 misiones exitosas. Los cohetes que utiliza actualmente son el Delta II, que puede llevar 6.100 kg a LEO, el Atlas V, con capacidad de lanzar 18.850 kg a LEO y 8.900 kg a GTO, el Vulcano, capaz de colocar 27.200 kg en LEO y 14.400 kg en GTO, y el Delta IV, que puede llevar 28.370 kg a LEO y 14.210 a GTO. El precio de los lanzamientos del Atlas V comienza en los USD 109 millones; aquellos se realizan desde Cabo Cañaveral en Florida, y desde la base Vandenberg de la fuerza aérea estadounidense, en Santa Bárbara[104] y la compañía tiene un ingreso anual estimado de USD 1,2 mil millones. Las partes que componen los cohetes usados por ULA para sus lanzamientos son provistas principalmente por la empresa estadounidense Aerojet Rocketdyne, la cual es propiedad de Lockheed Martin. ULA tiene como clientes a varias empresas privadas que fabrican y operan satélites y a la NASA.

# 3. Argentina y las nuevas tendencias

### 3.1 Proyectos argentinos privados

En esta sección se relevan algunos proyectos de actores argentinos privados que están insertándose en varias de las actividades que forman parte de las nuevas tendencias que se presentaron en la sección anterior. Entre los proyectos relevados se distinguen actores de diversos tamaños, desde microempresas a firmas de más de 200 empleados que utilizan diferentes fuentes de financiamiento, desde aportes no reembolsables del Estado o el apoyo de aceleradoras hasta la captación de fondos en el exterior. Dentro de los proyectos llevados a cabo por estos actores encontramos iniciativas en el área de servicios de lanzamiento, desde el servicio de *broker* hasta proyectos completamente integrados con empresas que desarrollan sus propios motores, aunque siempre apuntando a nichos muy específicos de mercado. También existen proyectos vinculados a constelaciones satelitales de órbita baja con distintos objetivos, tales como el de prestación de servicios de conexión para IoT en industrias agrícolas o mineras, o constelaciones de satélites de imágenes. Entre los proyectos para el desarrollo de sistemas satelitales también se encuentra una iniciativa vinculada a la provisión de interconexión satelital láser, como un camino alternativo a las comunicaciones en radiofrecuencia. Finalmente, también se ha relevado un proyecto de servicios en órbita, que desarrolla naves que van a remolcar satélites en el espacio, cumpliendo sus funciones de propulsión y logrando extender la vida útil de los mismos.

#### Servicios de lanzamiento

Como ya se vio en la sección previa, un fenómeno notorio en las actividades espaciales de los últimos años ha sido la creciente participación del sector privado en la prestación de servicios de lanzamiento de satélites. Dentro de esta actividad existen proyectos con mayores o menores niveles de integración, y que operan en distintos segmentos de la cadena de provisión del servicio y con diferentes tipos de clientes. Uno de esos segmentos es ocupado por empresas que funcionan como *brokers*, las cuales se encargan de conseguirles un lugar en los lanzadores a clientes que están interesados en colocar cargas útiles reducidas. Como las empresas de lanzamiento no atienden individualmente a clientes con cargas tan pequeñas, el *broker* se encarga de juntar muchas de estas, para las cuales contrata un espacio conjunto con las empresas que prestan el servicio de lanzamiento. Este tipo de servicios cobra relevancia cuando las cargas son pequeñas; en esos casos, al no poder contratar directamente con la empresa que presta el servicio de lanzamiento una fracción tan pequeña de la carga útil del lanzador, el interesado en enviar

[101] Para más información ver: https://www.arianespace.com/about-us/.
[102] Para más información ver: https://www.arianespace.com/missions/.
[103] El importe de los lanzamientos varía según configuración GTO, LEO y carga útil a transportar.
[104] Para más información ver: https://www.ulalaunch.com/about.

su carga se contacta con el *bróker,* quien la agrupa con la de otros clientes en situaciones similares y contrata un espacio en el lanzador para todos ellos en conjunto. Este es el caso del proyecto Diysatellite, una *startup* fundada por el radioaficionado argentino Gustavo Carpignano, un técnico electrónico que se desempeña como jefe técnico en el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF). Aunque el proyecto, en la cual por ahora trabajan solo dos personas, empezó sus actividades en 2014 y tiene sede en Buenos Aires, legalmente la empresa se radicó de manera formal recientemente en Texas, Estados Unidos. Si bien hasta el momento la empresa ha funcionado con los aportes de los socios, tiene planeado buscar capitales en Estados Unidos.

Diysatellite tiene como objetivos comerciales, por un lado, brindar un servicio de intermediación entre clientes no especializados, particulares o institucionales –e. g., universidades-, que se encuentran interesados en lanzar satélites y las empresas que prestan servicios de lanzamiento, y, por otro, ofrecer kits para fabricar satélites del tipo PocketQube, incluyendo tanto los materiales como la asistencia técnica para su armado. PocketQube es un estándar de fabricación de satélites de 5 cm x 5 cm x 5 cm, cuyo peso se aproxima a los 250 g, que además pueden ser construidos con materiales CotS y pueden adaptarse, mediante la integración de distintos módulos, a diferentes finalidades, como capturar imágenes o prestar servicios de telecomunicación[105].

En los servicios de intermediación que ofrece Diysatellite, además de contactar y negociar un lugar en el *payload* del lanzador, se incluye el eyector que se utiliza para soltar a los PocketQubes desde el lanzador cuando este llega a la órbita objetivo. En la fabricación del eyector, que es encargada por Diysatellite a fabricantes de EE. UU., se suelen utilizar materiales como aluminio aeronáutico o windform. Diysatellite también ofrece asesorar y asistir a los clientes con todas las cuestiones normativas involucradas en el lanzamiento del satélite, como por ejemplo los trámites ante el Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM) para los registros que se realizan con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Por los servicios para conseguir lugar en los lanzadores, Diysatellite cobra entre USD 12 mil y 15 mil por cada unidad PocketQube, de los cuales el 40% se estima, según lo recogido en el trabajo de campo, como valor agregado, y el tiempo estipulado desde que el servicio es contratado hasta que la empresa lanzadora coloca la carga útil en el espacio es de 18 meses. Respecto de los componentes de los kits que ofrece Diysatellite, en particular el chasis se fabrica en Argentina, pero la mayoría son importados, y los proveedores se encuentran principalmente en Alemania, EE. UU., y China. El precio de venta de los kits parte de los USD 300 (donde hay un valor agregado aproximado del 70%, según la información recabada en las entrevistas), y depende de las especificaciones para su funcionalidad, tales como la integración de módulos para IoT, o cámaras que pueden ser de hasta 2 megapixeles. Según explicó Gustavo Carpignano en una entrevista para el presente trabajo, el núcleo del negocio se encuentra en proveer los servicios de lanzamiento a aquellos que compren sus kits y no en la venta de los kits en sí. Aunque Diysatellite al momento no ha concretado ventas de sus servicios, según lo recogido en el trabajo de campo, actualmente está formalizando contratos con universidades latinoamericanas, para proveerles el servicio que les permitiría que sus cargas útiles sean lanzadas para fines de 2022 o 2023.

Diysatellite ya ha desarrollado el satélite DIY-1, un proyecto de demostración tecnológica autofinanciado, que pesa 200 g y fue diseñado para ser usado por radioaficionados. El DIY-1 se desarrolló en un plazo de 48 meses y la empresa italiana Gauss, *spin off* de la Universidad Sapienza de Roma, realizó el servicio de intermediación con la empresa lanzadora, ese mismo servicio de intermediación que actualmente Diysatellite ofrece a empresas no especializadas. El lanzamiento del DIY-1 se realizó en marzo de 2021 en un Soyuz-2 de GK Launch Services, lo que convirtió al DIY-1 en el primer PocketQube argentino operativo.

En la Argentina, existen otros emprendimientos que también apuntan a nichos de mercado muy concretos, y están desarrollando su propia infraestructura para la prestación de servicios de lanzamiento. En efecto, más allá de los proyectos de acceso al espacio de la CONAE[106], recientemente han emergido

[105] Ver más información en: http://diysatellite.com/.

[106] En el marco del Plan Espacial Nacional, la CONAE lleva adelante proyectos de acceso al espacio que contemplan el desarrollo de lanzadores satelitales propios, como por ejemplo el Tronador II. Para más información ver: https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/acceso-al-espacio.

algunas iniciativas privadas que buscan realizar servicios de lanzamiento de satélites pequeños (nanosatélites, picosatélites, etc,). Entre estas iniciativas se encuentra la de TLON Space, una PyME fundada en 2005 por el economista Pablo Vic y el ingeniero Gerardo Natale, que busca ofrecer servicios de lanzamiento de nanosatélites a LEO, específicamente entre los 500 y 800 km de altura. Según informó en una entrevista para este trabajo su director de operaciones, Luis Monsegur, en noviembre de 2021 TLON contaba con 15 empleados directos y otras 15 personas fuera de la empresa trabajando de manera exclusiva para TLON. La empresa se encuentra desarrollando su lanzador de dos etapas Aventura I, cuya primera etapa planean que sea reutilizable. Este lanzador, que está atravesando la fase de pruebas, en enero de 2021 realizó su cuarto vuelo de testeo exitoso, que alcanzó una altura de 2 km, y en junio de 2021 transportó en un vuelo con el mismo alcance un satélite de la empresa argentina Innova Space, que sirvió para testear diversos subsistemas que componen el sistema de lanzamiento, como por ejemplo el sistema de guía, navegación y control[107]. Todas las actividades realizadas por la empresa hasta el momento de la entrevista fueron financiadas completamente por los aportes de los accionistas.

El hecho de que Aventura I haya sido específicamente diseñado para lanzar satélites pequeños, según Luis Monsegur, permitiría ofrecer un servicio de lanzamiento mucho más barato y con mayor frecuencia que el que actualmente hay en el mercado de lanzamientos a LEO. Además, TLON Space quiere proporcionar una alternativa al *ridesharing* utilizado generalmente por los nanosatélites. El *ridesharing* es una modalidad de lanzamiento en la cual dos o más satélites comparten el mismo vehículo lanzador, abaratando el costo; los satélites pequeños suelen ser parte de la carga secundaria, cumpliendo una cantidad de requisitos para no afectar los objetivos de la carga principal. Esto implica poca flexibilidad a la hora de programar la fecha de la misión y en algunos casos no deja a los satélites exactamente en sus órbitas objetivos, sino en órbitas cercanas a ellas[108] [109]. La propuesta de TLON pretende superar estas limitaciones, ofreciendo un servicio que se adapte a las necesidades de lanzamiento de satélites pequeños.

Aventura I será de los vehículos lanzadores más ligeros de la industria; los prototipos tienen un peso húmedo de 850 kg, miden 10 m de altura, tienen capacidad para transportar hasta 25 kg, y pueden alcanzar una velocidad de 8 km/s. Además, Aventura I podrá ser construido en una semana, y sus partes no reutilizables fueron diseñadas para incinerarse en su reingreso a la atmósfera, disminuyendo el impacto en el medio ambiente y la problemática de la contaminación espacial. TLON Space dispone de instalaciones, ubicadas en la zona norte de la provincia de Buenos Aires, para la construcción y ensayo de sus propios motores híbridos, cuenta con un puerto espacial en la costa argentina, desde donde se realizan los lanzamientos de prueba y se espera llevar adelante los lanzamientos comerciales, y planea eventualmente instalar nuevos puertos espaciales en otros países en el hemisferio norte.

Según declaró Luis Monsegur "la empresa estará en condiciones de operar comercialmente en el año 2022". Al momento, según lo recogido en el trabajo de campo, ya ha firmado un contrato para prestarle servicios de lanzamiento a un cliente estadounidense, y tiene acuerdos con potenciales clientes de España, Argentina y EE. UU., con el fin de aprender a adaptar los servicios de lanzamiento a sus requerimientos y necesidades. De acuerdo con la información provista en su página web la empresa posee varios desarrollos tecnológicos propios[110], tales como el motor híbrido V3R2HYB, que según afirmación de TLON es 100% ecológico. Este motor utiliza como oxidante peróxido de hidrógeno y como combustible una mezcla de butanol y metanol, lo que permitirá bajar radicalmente el costo de lanzamiento. En 2021 el valor promedio del servicio de lanzamiento en la industria es de USD 30.000 por kg [111], y TLON espera llevarlo a USD 20.000 [112] (aunque no tenemos detalles sobre los canales a través de los cuales se produciría esta reducción de costos).

[107] Ver: https://mercado.com.ar/protagonistas/innova-space-realiza-con-exito-su-primer-vuelo-suborbital/.

[108] Ver más información en: https://tlon.space/services/.

[109] Ver más información en: https://tlon.space/about-us/.

[110] De acuerdo con lo informado por su director de operaciones, TLON Space ha desarrollado 18 tecnologías que incluían desarrollos en el área de aviónica, fuselaje, y propulsión entre otros.

[111] Ver precios de referencia en: https://spacefund.com/launch-database/.

[112] Este valor surge del precio de USD 500.000 para un vuelo completo de 25 kg de carga que fue informado en la entrevista por el director de operaciones de la empresa. Naturalmente, el valor por kilo sería mayor en caso de que no se completen los 25 kg.

Respecto de su vinculación con el resto del ecosistema local, TLON cuenta con una validación tecnológica otorgada por la CONAE (información recogida en la entrevista con la empresa), y entre sus proveedores se encuentran varias empresas argentinas que han participado de los proyectos Tronador de la CONAE, incluida la empresa VENG, quien le brinda servicios de testeo a TLON, y otras que han participado en otros proyectos satelitales de la agencia. A excepción de algunas piezas electrónicas importadas, el vehículo lanzador se compone esencialmente de partes de origen local.

Existe otro emprendimiento privado que busca desarrollar medios de acceso al espacio desde la Argentina y que apunta proveer servicios de lanzamiento orbital de microsatélites y minisatélites[113]. Se trata de la empresa LIA Aerospace. Actualmente su CEO es el ingeniero mecánico del ITBA Dan Etenberg, quien fue uno de sus fundadores en 2014, y fue entrevistado para el presente trabajo. La empresa, radicada en la Ciudad de Buenos Aires, cuenta con seis personas trabajando a tiempo completo y posee un laboratorio en la provincia de Buenos Aires donde realiza ensayos, y dónde se está desarrollando una serie de demostradores tecnológicos llamados Zonda. En el futuro, la empresa apunta a proveer servicios de lanzamiento de cargas de entre 100 a 200 kg a LEO (a aproximadamente 500 km), con un vehículo lanzador llamado Procyon que será desarrollado internamente.

Según informó Dan Etemberg en entrevista para este trabajo, los servicios brindados por el lanzador Procyon podrían comercializarse a USD 25.000 por kg, con una capacidad operativa para realizar 10 lanzamientos por año. [114][115] En enero de 2021 completaron exitosamente un vuelo de prueba con el lanzador suborbital Zonda 1.0, la primera versión del demostrador tecnológico Zonda, desde un campo en Magdalena, Provincia de Buenos Aires, llegando a conseguir una altura de aproximadamente 3 km. El Zonda 1.0 tiene 4 m de altura y un motor, también desarrollado por LIA Aerospace, que funciona con un propelente, el cual es producido por la propia empresa, compuesto por peróxido de hidrógeno como oxidante y kerosene como combustible. De acuerdo su CEO, el uso de esta mezcla reduce en un 60% la huella de carbono en comparación con los combustibles utilizados normalmente en la industria (esta reducción se debe principalmente a la utilización de peróxido de hidrógeno en lugar de oxígeno puro, lo cual permite quemar menos combustible para el mismo empuje). Esta mezcla de combustible y oxidante también será utilizada por el lanzador Procyon.

La empresa tiene un plan de tres etapas para llevar a cabo sus objetivos. En la primera etapa, comenzada en 2019 y completada con éxito a principios de 2020, se han realizado varias pruebas de distintas tecnologías que son necesarias para el desarrollo de lanzadores. En la segunda etapa, actualmente en curso, se está desarrollando la segunda versión del demostrador tecnológico Zonda, el Zonda 2.0, que se planea que llegue a una altura en torno al rango de 50 a 60 km. A partir del aprendizaje en el desarrollo de los Zonda 1.0 y 2.0, se espera acumular el *know how* y la *expertise* necesaria para, en la tercera etapa, desarrollar el Procyon. Este lanzador también será íntegramente desarrollado por LIA Aerospace, y se estima que estará disponible para comercializar sus servicios a finales de 2024. Para poder prestar estos servicios, la empresa planea construir un puerto espacial, objetivo para el cual está considerando locaciones cerca de Puerto Deseado. Si bien la empresa no mantiene acuerdos de cooperación ni vínculo formal con la CONAE o VENG, quienes poseen instalaciones y experiencia en lanzadores, sí se abastece con varios proveedores locales del sector aeroespacial para sus propios desarrollos.

Actualmente LIA Aerospace se encuentra explorando alternativas de posibles clientes para los servicios del lanzador Procyon, principalmente empresas privadas, tanto locales como extranjeras, con interés en lanzar QubeSats. Hasta el momento, las fuentes de ingreso de la empresa han provenido principalmente de inversores ángel, y está considerando la posibilidad de abrir una oficina en Europa que permita facilitar la obtención de capital en el exterior.

**Constelaciones satelitales de órbita baja**

Otra de las actividades que, como se ha visto en la sección previa, ha tenido un importante crecimiento a nivel global, es la de la conformación de constelaciones satelitales de órbita baja, ya sean tanto para brindar servicios de telecomunicación o de IoT, como para prestar servicios de observación de la Tierra.

[113] Los microsatélites pesan entre 10 y 100 kg y los minisatélites entre 100 y 500 kg (López et al., 2017).
[114] Ver nota en: http://latamsatelital.com/lia-aerospace/.
[115] Ver más información en: https://lia-aerospace.com/.

En este último segmento se desempeña Satellogic, una empresa que fue fundada en 2010 por Gerardo Richarte y Emiliano Kargieman[116] para proveer servicios de imágenes satelitales a bajo costo[117]. La empresa posee un elevado grado de integración vertical; construyen ellos mismos sus propios satélites en una fábrica en Uruguay, realizan el desarrollo de proyectos en Argentina e Israel, y disponen además de una oficina de *data science* en España y de oficinas de desarrollo de negocios en EE. UU. y China. Según informó la empresa para este estudio cuentan con más de 340 empleados.

Los nanosatélites de Satellogic son construidos siguiendo la estandarización de diseño CubeSat, la cual permite construir satélites con costos bajos y de manera rápida. Gracias a esto el costo por imagen para Satellogic es mucho menor que el de competencia; de acuerdo con declaraciones de Kargemian "50 veces más bajo que el del competidor más cercano y cientos de veces más bajo que los competidores que siguen".

Los primeros satélites desarrollados por Satellogic fueron la familia Cube-Bug, que incluye a los Cube-Bug 1 y 2 apodados "Capitán Beto" y "Manolito". Capitan Beto fue lanzado por la china CGWIC en 2013, convirtiéndose en el primer nanosatélite operativo desarrollado y producido en la Argentina, y Manolito fue lanzado también en 2013 por la rusa ISC Kosmotras. El Ministerio de Ciencia, Tecnología, e Innovación Productiva de la Nación financió parcialmente, con 6,3 millones de pesos, el desarrollo de ambos satélites. Adicionalmente, INVAP en 2010 firmó un acuerdo con Kargieman para incubar a Satellogic en sus laboratorios de Bariloche, a través del cual proporcionó la infraestructura, experiencia, y parte del capital humano que se usó para el diseño, desarrollo y la construcción de ambos satélites[118].

Satellogic posee una constelación operativa, Aleph-1, la cual tiene 17 satélites actualmente en órbita brindando servicios comerciales, de los cuales los últimos cuatro fueron lanzados en junio de 2021 por SpaceX, con quien Satellogic firmó un convenio a principios del mismo año. A partir de este acuerdo Satellogic espera aumentar el tamaño de su flota a más de 300 satélites para el año 2025, año para el cual también proyectan unos ingresos anuales de USD 800 millones. Cada uno de los satélites de la constelación tiene la capacidad de capturar diariamente en imágenes aproximadamente 300.000 km2 con una resolución de *ground sample distance* (GSD) de 0,7 m [119] [120].

En Julio de 2021 Satellogic había anunciado que comenzaría a cotizar en Nasdaq desde finales del mismo año, y de acuerdo con un comunicado oficial la firma saldrá al mercado con una valuación de aproximadamente USD 850 millones. Esto la posiciona muy cerca de formar parte del grupo de los unicornios argentinos, es decir las firmas cuyas valuaciones superan los USD 1.000 millones, entre las que, para el año 2021, se encontraban Globant, Mercadolibre, Despegar, OLX, Auth0, y Ualá, entre otras.

Como hemos mencionado, las constelaciones en órbita baja también pueden tener objetivos vinculados a las telecomunicaciones. Uno de los campos más dinámicos en este rubro es el de la provisión de servicios satelitales de IoT, que son de gran utilidad para brindar conectividad no solo a dispositivos hogareños, sino también a ciertas actividades productivas, como la petrolera, minera, o las agropecuarias, que muchas veces se realizan en zonas remotas o poco conectadas. Es en este segmento de la actividad espacial donde se está insertando Innova Space, una empresa marplatense que busca desarrollar y operar satélites del tipo PocketQube para telecomunicaciones, particularmente para IoT[121].

La empresa fue fundada en 2019 por el técnico electrónico Alejandro Cordero, profesor de la universidad CAECE, y sus dos ex alumnos de la escuela técnica N° 5 Amancio Williams, Luca Uriarte e Ivan Mellina,

[116] Gerardo y Emiliano también fundaron en 1996 la empresa Core Security Technologies de seguridad informática.

[117] Ver más información en: https://satellogic.com/company/about-us/.

[118] Ver: http://u-238.com.ar/el-inexplicable-capitan-beto-explicado/.

[119] Las resoluciones GSD usadas para imágenes satelitales indican la distancia en la superficie terrestre a la que equivale la distancia entre el centro de dos píxeles contiguos de una imagen; cuanto menor el número de GSD, mejor la resolución de la imagen.

[120] Ver: https://satellogic.com/technology/constellation/.

[121] Los datos aquí presentados sobre las actividades de Innova Space proceden de información que ha sido publicada por la empresa y de una entrevista realizada para este trabajo con Elyka Abello (CTO de la empresa) e Ignacio Pintos (encargado del sector de ingeniería).

que actualmente son estudiantes de Ingeniería Informática y electrónica, respectivamente[122]. Innova Space contaba al mes de noviembre de 2021 con 10 empleados y dispone de un solo desarrollo que se encuentra en fase de testeo, el picosatélite MDQube-Sat 1.

Innova Space obtuvo en 2020, a través del Programa SOLUCIONA[123] del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación, un financiamiento de $14,5 millones para el desarrollo del satélite. Adicionalmente, el impulsor de *startups* argentino Neutrón, perteneciente al Grupo Núcleo, había financiado parcialmente las actividades de la empresa, con aportes equivalentes a los USD 125 mil. Neutrón provee soporte con las actividades de marketing, finanzas y legales, y permite que Innova Space utilice sus instalaciones en Mar del Plata, donde actualmente funciona el laboratorio de la empresa.

MDQube-Sat 1, el cual se basa en el estándar PocketQube, tomará dimensiones de 10 cm x 5 cm x 5 cm (i. e., técnicamente, arquitectura de 2P, que representa dos unidades de PocketQube), y tendrá un peso aproximado de 500 g. El costo total del MDQube-Sat 1 se estima en los USD 100 mil, de los cuales aproximadamente el 40% será el costo del servicio de lanzamiento. Innova Space integra sus propios subsistemas para el satélite, haciendo uso de componentes electrónicos importados, principalmente *chips* que son comercializados como CotS y son provistos por un reducido número de proveedores en el mundo, y de placas electrónicas que son de manufactura local. Dentro del valor agregado en el país se encuentra la antena de la estación terrena que fue construida por un proveedor local. Partiendo de avances previos, entre los que se encuentra lo realizado en la escuela técnica (Sat Duino), el desarrollo del primer prototipo de la empresa tomó 9 meses en concluirse. A partir de este, estiman que los tiempos de fabricación de otra unidad pueden rondar los cuatro meses.

Este satélite será el primero de una serie de demostraciones tecnológicas pensadas con el objetivo de probar la plataforma de servicios de IoT a comercializar en el futuro. Una vez que se hayan cumplido las misiones exitosamente, se planea lanzar una constelación de alrededor de 100 picosatélites que brindarán servicios de interconexión de bajo costo a distintas actividades productivas –e .g,. agricultura, minería- y tendrán una vida útil de aproximadamente tres años. Según informó la empresa para este trabajo, se espera que el primer satélite de demostración sea lanzado a LEO (aproximadamente en los 500 Km de altura) en enero de 2022 en un Falcon 9 de SpaceX. Después de esto se planea lanzar otros dos satélites demostradores tecnológicos en 2022, siendo uno de estos un gemelo del MDQube-Sat 1, aunque todavía no se definió quien brindará los servicios de lanzamiento. Finalmente, se estima que entre 2024 y 2025 se comenzará a lanzar la constelación. El MDQube-Sat 1, así como todos los otros satélites de IoT, requieren de autorización de parte del ENACOM para ser lanzados, la cual ya se está tramitando a través de la Subsecretaría de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, dependiente de la Jefatura de Gabinete de la Nación.

La constelación estará orientada a sensorización; esto es, se encargará de recolectar y transmitir datos generados por sensores ubicados en zonas remotas o poco conectadas donde se realice explotación minera, petrolera, o agropecuaria. Se están explorando potenciales clientes entre las empresas de estos sectores y se estima que el valor comercial del servicio estándar para un sensor será de USD 100 como pago único para poder conectarse a la plataforma, más USD 7 mensuales, teniendo disponible una transmisión de 100 bytes al día.

Para desarrollar sus satélites Innova Space colabora con varios actores del ecosistema local, por ejemplo, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que presta el servicio de integración de las celdas solares, o el Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), que le provee los servicios de ensayos ambientales. También mantiene contacto con instituciones como INVAP, VENG y el Centro de Ensayos de Alta Tecnología (CEATSA)[124]. Además, colabora con otras *startups* de la industria; por ejemplo, en junio de 2021 realizó exitosamente un vuelo de prueba suborbital de un prototipo del MDQube-Sat 1 a bordo del prototipo del lanzador Aventura I

[122] Ver más información en: https://www.innova-space.com/es/#nosotros.

[123] El programa brinda asistencia financiera a empresas sel sector de la economía del conocimiento que puedan favorecer la reactivación económica post COVID-19. Ver más en: https://datos.gob.ar/dataset/produccion-programa-soluciona.

[124] CEATSA, fundado en 2010, es un *joint venture* entre ARSAT e INVAP. Ofrece servicios de ensayos de alta complejidad a distintas industrias (e.g. satelital, aeronáutica, electrónica, automotriz, defensa). Sus instalaciones (en el predio de INVAP, Bariloche) cuentan con una cámara de termo vacío, sistemas de ensayo acústico y de vibración, sistema de medición de propiedades de masa y un scanner para medición de antena.

de la empresa argentina TLON Space. En este vuelo se pudieron medir datos del funcionamiento del satélite, tanto durante el despegue, como en el vuelo y el aterrizaje[125].

**Interconexión satelital láser**

Como se ha visto, uno de los desafíos que enfrentan las telecomunicaciones satelitales es el de la interferencia de frecuencia entre satélites en LEO y satélites en GEO. A este desafío se le suma la carga que la información generada por los sistemas satelitales agrega a la enorme cantidad de datos que son generados y transportados diariamente por redes de conexión en la Tierra. Como se mencionó en la sección previa, una de las alternativas para atender en parte estos problemas podría surgir de reemplazar la interconexión con radiofrecuencia que utilizan los satélites por interconexiones que se basan en tecnología láser. La provisión de este tipo de servicios de conexión es bastante reciente y uno de los proyectos argentinos entrantes en este mercado es el de Skyloom Global. Esta *startup* fue fundada en 2017 por dos argentinos, el ingeniero mecánico del ITBA Marcos Franceschini y el ingeniero mecánico de la UBA Santiago Tempone, actual CTO de la empresa que fue entrevistado para este trabajo. Ambos ingenieros trabajaron previamente en INVAP, Santiago durante tres años como ingeniero de sistemas mecánicos y líder del equipo de análisis estructural, y Marcos durante siete años, en los cuales participó en el desarrollo de las misiones Aquarius/SAC-D, ARSAT 1 y 2, y SAOCOM.

Skyloom Global, con *headquarters* en San Francisco, California, contaba en 2021 con 60 empleados, que alcanzan los 80 si se consideran los *part time* y los contratados; aproximadamente la mitad de estos 80 trabajan de manera remota desde la Argentina. La empresa cuenta con una división de I+D organizada por especialidades que atienden las diferentes dimensiones de los desarrollos que se realizan en su fábrica piloto de San Francisco, donde fabrican tiradas pequeñas de los dispositivos; para la etapa industrial planean tener una planta de producción a escala, también en San Francisco, en 2022. La empresa asimismo contrata servicios de desarrollo de software con la firma Emtech de Bariloche, la cual pertenece al ecosistema espacial argentino. Fuera de esto, según informó el CTO de Skyloom Global, no existen vínculos institucionales con otros actores del ecosistema local.

La empresa busca contribuir al alivio de los cuellos de botella que se generan en la transmisión de datos en la Tierra, los cuales son consecuencia del incremento exponencial en la cantidad de información que se procesa diariamente[126], parte de la cual proviene de los sistemas satelitales. Skyloom Global planea ofrecer una vía alternativa de transmisión de los datos generados por satélites en LEO, pensada para trabajar de manera complementaría con las redes de transmisión de datos de la Tierra, a través de dispositivos láser que actualmente pueden transmitir de 1 a 10 gigabytes por segundo. La empresa busca generar una red satelital que comunique con tecnología láser a los satélites en LEO con la Tierra, utilizando satélites GEO como intermediarios. El funcionamiento de esta red satelital se puede conceptualizar en tres partes: (i) los satélites LEO formarían una red conectándose entre sí con tecnología láser; (ii) esta red de satélites LEO se comunicaría con satélites GEO, también con tecnología láser; (iii) finalmente los satélites GEO se comunicarían usando tecnología láser con antenas en la Tierra[127]. Algunos de los potenciales competidores en este incipiente mercado son empresas como las alemanas Mynaric y TESAT, o la estadounidense SA Photonics, e incluso SpaceX, que ha realizado testeos de dispositivos de interconexión láser en su constelación Starlink.

La función de los satélites GEO en la red satelital proyectada será la de recibir la información enviada desde los satélites en LEO de sus clientes[128], para luego poder descargarla a la Tierra haciendo uso nuevamente de un sistema láser. La distancia entre satélites LEO y GEO conectados puede extenderse hasta los 44 mil km, con una conexión que podría ser constante si hubiese al menos dos satélites GEO en la red; sin embargo, un solo satélite GEO es suficiente para que la red sea funcional. Esta red de conexiones láser en el espacio no solo alivia la cantidad de datos a ser manejados por las redes de transmisión en la Tierra, sino que además evita problemas de interferencia de radiofrecuencias. El resultado final sería similar, en funcionalidad, al mencionado proyecto de SpaceDataHighway de la ESA,

[125] Ver: https://mercado.com.ar/protagonistas/innova-space-realiza-con-exito-su-primer-vuelo-suborbital/.

[126] Según datos de Skyloom Global para el año 2025 la cantidad de datos generados se duplicará cada 12 horas.

[127] Ver más información en: https://www.skyloom.co/.

[128] Estos satélites podrían tener misiones asociadas por ejemplo a IoT u observación de la Tierra, y también para telecomunicación, pero en este caso en forma de *backhaul*.

el cual comunica a los satélites de imágenes LEO del programa Copernicus con dos satélites de telecomunicaciones GEO que luego envían la información a la Tierra. Sin embargo, a diferencia de ese proyecto pensado para atender el programa de una agencia espacial, en el caso de Skyloom Global el proyecto fue orientado desde el inicio con la finalidad de comercializar sus servicios en el mercado.

En resumen, una vez desplegada la red, esta sería un símil a las redes de transmisión de datos que hay en la Tierra, pero usando conexiones láser en el espacio en lugar de fibra óptica. Respecto de la conformación de la red, sobre los satélites GEO la empresa está considerando posibles proveedores de la plataforma en la cual el *payload* de comunicación sería provisto por la propia empresa. Estos satélites tendrán un peso de aproximadamente 250 kg, y se planea que sean lanzados por la empresa Arianespace en 2023; la solicitud de autorización ante la ITU se hará desde EE. UU.

Skyloom Global ya tiene un contrato con una empresa contratista del Departamento de Defensa de EE. UU. para abastecer con un sistema de interconexión láser entre satélites LEO (en este caso sin la conexión con un satélite GEO) a una constelación de aproximadamente diez satélites que será lanzada en 2022. En este tipo de proyectos Skyloom Global desarrolla los dispositivos de interconexión láser, similares a los que actualmente vende, para incorporarlos en los satélites que conforman la constelación del cliente, los cuales pueden estar ubicados a una distancia entre los 6 mil y los 4 mil km conectándose de manera permanente o intermitente dependiendo de las especificaciones de la misión del cliente. El proyecto con la empresa contratista del Departamento de Defensa de EE. UU. servirá como una demostración de la confiabilidad y capacidad de la tecnología de comunicación láser. Hasta el momento de la entrevista con el CTO de la empresa se encontraba completo el desarrollo de los dispositivos de interconexión LEO-LEO, mientras que los dispositivos de interconexión LEO-GEO y GEO-Tierra, están siendo prototipados.

El financiamiento de la empresa proviene principalmente de los contratos por venta de dispositivos, y de las inversiones realizadas por *venture capitals*. En 2018 el fondo de inversión Draper Cygnus[129] realizó una inversión de aproximadamente USD 1,5 millones en la empresa, y en 2021 el fondo especializado en la industria espacial SpaceFund, el cual ha realizado inversiones en compañías tales como SpaceX, Axiom Space y Space Forge, también realizó inversiones en Skyloom Global.

**Servicios en órbita**

Como también se explicó en la sección previa, en los últimos años han aparecido empresas que prestan servicios a satélites en órbita, ya sea recargando el combustible o brindándoles propulsión cuando se les acaba el mismo. Un proyecto argentino que apunta a prestar servicios en órbita es el de la empresa Epic Aerospace, fundada en 2019 por su actual CEO Ignacio Montero, quien fue entrevistado para el presente trabajo. Ignacio estaba cursando la carrera de ingeniería aeroespacial en Stanford, cuando dejó sus estudios para dedicarse a tiempo completo al desarrollo de cohetes de forma independiente, actividad en la cual acumuló la experiencia que le permitió proyectar Epic Aerospace.

La empresa contaba en diciembre de 2021 con 21 empleados y estimaba ampliar la plantilla a 30 para principios de 2022. Epic Aerospace está radicada en EE. UU. y tiene una sede en California y otra en Buenos Aires, donde posee un sitio de ensayos de 16 hectáreas, realiza sus actividades de I+D (desarrollos de sistemas de propulsión, tanques de propelente, subsistemas y sistemas de control) y en el cual, además de producir su propio propelente, fabrican sus propios prototipos de motores[130]. Según información provista por su CEO, actualmente se está construyendo una nueva sede en Uruguay, con una sala limpia donde se realizarán las fases industriales de sus proyectos, que se estima, según lo recogido en el trabajo de campo, estará lista en febrero de 2022. Hasta el momento la empresa ha financiado sus actividades con inversiones realizadas por *venture capitals*, tanto de EE. UU. como de Europa.

La empresa apunta a desarrollar lo más que pueda *in-house*, y si bien se abastece de varios proveedores locales, no tiene mayores vinculaciones con actores que pertenezcan al ecosistema espacial argentino, ni tampoco mantiene vínculos formales con la CONAE.

[129] Draper Cygnus es un fondo argentino enfocado en *startups* latinoamericanas, el cual cuenta con el apoyo financiero del inversor estadounidense Tim Draper.

[130] Ver más información en: https://epic-aerospace.com/index.html.

El objetivo al cual apunta la firma es convertirse a futuro en una *transportation network company* que gestione una red de transporte orbital vinculando a clientes que necesitan mover sus naves en el espacio con proveedores de servicios de transporte para esas naves. Sin embargo, como la oferta de este tipo de servicios de transporte aún no está desarrollada, en una primera fase Epic Aerospace se ha orientado al desarrollo de los remolcadores espaciales necesarios para brindarla, los cuales se llamarán Chimeras. Como se explicó en la sección anterior, los remolcadores espaciales tienen como función transportar satélites entre órbitas.

Epic Aerospace planea lanzar los primeros remolcadores ya acoplados a un *client*, como hará la ya mencionada Spaceflight, para luego desacoplarse y pasar a otros; sin embargo, eventualmente se podrían lanzar nuevas Chimeras por separado para acoplarse a su primer *client* en el espacio y remolcarlo. Según informó el CEO de la empresa, las Chimeras están pensadas para tener una vida útil de tres años, y aunque las primeras estarán diseñadas para brindar aproximadamente diez servicios, se planea que futuros desarrollos permitan expandir el número de servicios a prestar.

Epic Aerospace está desarrollando dos versiones de Chimera en paralelo, una que pesará 100 kg en seco y 250 kg con combustible, especialmente diseñada para remolcar pequeños satélites (150 kg a 200 kg) en LEO, y la otra diseñada para transportar satélites más pesados (de 500 kg a 2.000 kg) desde órbitas GTO a GEO, la cual pesará también 100 kg en seco. Ambas versiones pueden utilizarse para satélites con distintas misiones, ya sean estos de telecomunicación, IoT, observación de la Tierra, de radar, etc., siempre y cuando tengan el peso adecuado. Se espera que el vuelo inaugural del remolcador LEO sea previo al del GTO-GEO, estimándose que en 2023 comience a prestar servicios el primero, y en 2024 el segundo.

Según informó su CEO, en agosto de 2021 se completaron exitosamente en Tierra algunos ensayos de las naves para LEO y GEO, entre ellos las pruebas del sistema de propulsión que la propia empresa desarrolla para los remolcadores, y que será químico, ya que esto permite conseguir un acortamiento en la duración de las maniobras respecto a la propulsión eléctrica. Un proyecto futuro de Epic Aerospace es utilizar Chimeras GTO-GEO para brindar servicios de transporte hasta órbitas bajas lunares, para lo cual ciertamente se requerirá realizar una serie de *upgrades* a los desarrollos actuales.

Los potenciales clientes de los servicios de la empresa pueden ser proyectos satelitales con distintos objetivos, y en particular empresas que quieran realizar demostraciones tecnológicas, por ejemplo, para probar un instrumento sin necesidad de tener su propio sistema de propulsión, o empresas que quieran desplegar constelaciones ya sea de telecomunicaciones como de observación de la Tierra en LEO; en estos casos el remolcador iría acoplado al satélite. También se le pueden brindar servicios de transporte a satélites actualmente en órbita, los cuales necesiten realizar un cambio de posición; en estos casos el remolcador se encontrará con el satélite en el espacio para poder trasladarlo. Entre los potenciales competidores en esta actividad que recién está iniciando se encuentran, entre otras, empresas de EE. UU. como Momentus, que utiliza propulsión eléctrica, la ya mencionada SpaceFlight, Launcher Space, y también la empresa de servicios de lanzamiento RocketLab[131].

### 3.2 Relevamiento de perspectiva para el sector espacial argentino

Complementando el relevamiento recién expuesto de los proyectos privados argentinos en el área, este trabajo buscó conocer la perspectiva de distintos especialistas del sector espacial respecto de las posibilidades, obstáculos y limitaciones para que actores locales –tanto existentes como potenciales- se inserten en las tendencias globales relevadas en la sección dos de este informe. Con este objetivo, se realizó una encuesta semiestructurada (ver Anexo- Encuesta nuevas tendencias del sector espacial) a 12 especialistas argentinos que se desempeñan en diversas empresas e instituciones de la actividad espacial, entre ellas la CONAE, ARSAT, la Subsecretaría de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, varias empresas pertenecientes a la Cámara Argentina Aeronáutica y Espacial (CArAE), Epic Aerospace y Diysatellite.

[131] Según el CEO de Epic Aerospace, salvo SpaceFlight todas estas empresas se encuentran en fase de desarrollo, y ninguna de ellas desarrolla sus propios sistemas de propulsión.

Los encuestados asignaron una puntuación (de 0 a 3) a la posibilidad de que actores del ecosistema espacial argentino se inserten en los diferentes grupos de actividades espaciales. Se les pidió adicionalmente que indiquen el horizonte en lo cual consideraban factible esa inserción y si conocían actores que actualmente tengan proyectos en esa dirección. También para las distintas actividades se les pidió que indiquen la relevancia de una serie de obstáculos que limitan las posibilidades de inserción en las mismas. Los especialistas consultados ordenaron los obstáculos y limitaciones (incluyendo la opción "Otros") en nueve posiciones, asignándole desde 1 punto a la de menor relevancia hasta 9 puntos a la de mayor relevancia.

En base al relevamiento realizado, se ha identificado un cierto consenso respecto de algunos grupos de actividades relevadas en la Sección 2 en las cuales la Argentina posee mayores posibilidades de insertarse. En la Tabla 1 se ordenaron los distintos grupos de actividades en función de la cantidad de puntos que sumaron en las respuestas de los encuestados. La mayor parte de los encuestados consideró que las posibilidades eran mayores (2 o 3) en el caso de la conformación de constelaciones LEO, tanto de IoT como de observación de la Tierra, así como para los proyectos que busquen insertarse en actividades asociadas al desarrollo de nuevas tecnologías (e. g., comunicación vía láser). Resulta llamativa la relativamente baja posibilidad que se le asignó a la inserción en actividades comerciales de lanzamiento, considerando que, además del proyecto de acceso al espacio de la CONAE, existen al menos otros dos emprendimientos privados (ambos relevados para este estudio) orientados a la prestación de estos servicios (abajo volvemos sobre el tema). De forma previsible, las actividades más complejas y con mayores requerimientos de inversión son las menos mencionadas (turismo espacial, agricultura espacial, minería de asteroides, exploración del espacio, etc.).

Cuando se les consultó a los encuestados si había otras actividades con posibilidades de inserción, además de las mencionadas en la Tabla 1, varios respondieron la provisión de componentes, e incluso de sistemas de propulsión. Cabe mencionar que además de Epic Aerospace, empresa que fue entrevistada para este proyecto y que desarrolla sistemas de propulsión química, también INVAP se encuentra desarrollando un sistema de propulsión para satélites, en ese caso eléctrica para el proyecto de GSATCOM (López et al., 2021). Otras actividades mencionadas son las vinculadas a los sistemas de navegación satelital, meteorología, defensa y algunas tecnologías particulares dentro de las actividades de observación de la Tierra.

**Tabla 1. Orden de posibilidad de inserción de actores argentinos en los grupos de actividades espaciales (de mayor a menor)**

| Orden | Actividad | Puntaje |
|---|---|---|
| 1 | Constelaciones de satélites de IoT | 29 |
| 2 | Constelaciones de satélites de observación | 28 |
| 3 | Nuevas tecnologías (e.g. comunicación vía láser, velas solares) | 24 |
| 4 | Constelaciones de satélites de telecomunicación no-GEO | 20 |
| 5 | Servicios comerciales de lanzamiento | 17 |
| 6 | Resolución de contaminación espacial | 17 |
| 7 | Agricultura espacial y minería de asteroides | 15 |
| 8 | Misiones no tripuladas y de exploración del espacio | 13 |
| 9 | Misiones tripuladas y turismo espacial | 11 |

*Fuente: elaboración de los autores en base a información recogida en el trabajo de campo.*

Respecto a los motivos por los que en algunas actividades la Argentina tiene mayores posibilidades de inserción, el denominador común en las respuestas de los especialistas consultados fue que existe un gran pool de capital humano disponible a nivel local. También se mencionó como ventaja la existencia de varias instituciones ligadas a la actividad, como la CONAE, ARSAT e INVAP que, gracias a su vasta experiencia y trayectoria, podrían contribuir al desarrollo de proyectos en algunos de estos grupos de actividades. Sin embargo, de las entrevistas realizadas a los directivos de varios proyectos en marcha surgen dudas respecto de cuan plausible es que se materialicen las contribuciones que estas instituciones podrían realizar. Resulta llamativo que el vínculo de la mayoría de los proyectos relevados con el resto de las instituciones del ecosistema espacial argentino sea escaso. De las entrevistas surge, por un lado, que la falta de interacción de hecho puede responder a la estrategia de algunas empresas para concentrar las actividades de I+D tanto como se pueda al interior de ellas. Y, por otro lado, aunque en algunos casos los directivos de los proyectos privados han dicho que la cooperación con las instituciones locales de CyT les podría ser de gran utilidad (para acceder a los conocimientos, capacidades y equipamiento de dichas instituciones), no existen mecanismos ágiles para que las empresas interactúen con estas instituciones. Este es un punto que merece la pena ser abordado con mayor profundidad en futuros trabajos.

Siguiendo con los motivos para la alta posibilidad de inserción en algunas actividades, las respuestas destacaron que en constelaciones de IoT y de observación de la Tierra, y en actividades asociadas a la utilización de tecnologías de comunicación láser, se cuenta con el activo disponible de que ya existen proyectos en marcha (Innova Space, Satellogic, y Skyloom Global respectivamente). Sobre las constelaciones para IoT se señaló además que existen otras instituciones con capacidades para desarrollarse exitosamente en esta área, como la UNLP, la Universidad de Palermo, y ARSAT, en este caso gracias a su experiencia con los satélites ARSAT 1 y 2. En cuanto a las constelaciones de observación de la Tierra, se remarcó el hecho de que Satellogic ha sido capaz de conseguir las fuentes de capital necesarias para llevar adelante su proyecto y que ha logrado acumular una significativa experiencia en el terreno de las constelaciones de observación, y además se mencionó el aprendizaje obtenido en los proyectos de observación de la Tierra de la CONAE (todas involucrando a INVAP), en particular en el desarrollo exitoso de la misión SAOCOM. Finalmente, en el caso de la tecnología láser se ha mencionado también que la CONAE, el Instituto Balseiro y la Universidad Nacional de Córdoba cuentan actualmente con proyectos vinculados a esta actividad, y también se señaló que las capacidades de VENG podría permitirle incursionar en esta área.

Respecto de los servicios en órbita, la gran mayoría de los especialistas locales no sólo consideró poco probable que actores argentinos se inserten en esas actividades en el futuro cercano, debido a su complejidad, sino que también desconocen que haya algún proyecto vigente. Es llamativo que no se conozca a Epic Aerospace (relevada en este trabajo), la cual, si bien está radicada en EE. UU., tiene casi a la totalidad de sus trabajadores en la Argentina. Quizás el desconocimiento radique en que en sus inicios el fundador estuvo vinculado a proyectos de lanzadores y no haya mucha información pública sobre su proyecto actual de remolcadores.

En lo que hace a las posibilidades de inserción en actividades comerciales de lanzamiento, la mayoría de los especialistas menciona a VENG como la institución que eventualmente podría hacerlo, mediante el proyecto Tronador II, pero sin embargo consideran que esto no sucedería en el futuro cercano. Los motivos señalados no son tecnológicos, sino más bien asociados a cuestiones políticas y estratégicas, tales como la falta de continuidad de una política de estado que trascienda las administraciones de turno, algo que se señala como indispensable para el desarrollo de proyectos de largo plazo, como el del Tronador II. Además, se mencionan también dificultades para eventualmente comercializar este tipo de servicios, ya que hay una competencia muy desarrollada para esta clase de actividades. Los especialistas

que hicieron mención a los proyectos privados relevados en este trabajo, que se enfocan en el lanzamiento de cargas muy inferiores a las del Tronador II, remarcan que estos se encuentran todavía en una etapa muy incipiente, y que necesitan mucho más tiempo e inversión para poder contar con posibilidades concretas de insertarse comercialmente en la actividad.

Otro consenso que surge de la encuesta es respecto de la mayor o menor relevancia de varios obstáculos y limitaciones para la inserción de actores argentinos en las nuevas tendencias de la actividad espacial. Esta consulta se segmentó en el ordenamiento de las limitaciones para aquellas actividades que previamente habían sido consideradas con baja posibilidad de inserción, por un lado, y de alta posibilidad de inserción por otro. Para cada limitación se sumaron los puntajes asignados según lo indicado más arriba, y en la Tabla 2 se presenta el resultado para la consulta en el caso de las actividades de baja posibilidad, de alta posibilidad, y la suma de los puntajes obtenidos en ambas categorías.

Los especialistas consultados han señalado que la falta de financiamiento para la inversión es el mayor obstáculo para la inserción de los actores argentinos en las nuevas tendencias de la actividad espacial. También existe bastante consenso respecto a que algunas regulaciones actuales en el área de comercio exterior son un inconveniente para el desarrollo del sector. En las respuestas se ha reiterado la necesidad de un régimen que permita al sector un acceso más ágil a los insumos que requieren sus desarrollos y que no se producen localmente, y un mayor apoyo estatal para poder ubicar los productos en el exterior. Se ha señalado que este tipo de dificultades para la inserción en los mercados se ve agravada por la constante inestabilidad macroeconómica del país. La gran relevancia de estas limitaciones ha sido independiente de si se trataba de actividades con posibilidades de inserción altas o bajas. En el caso particular de las actividades consideradas con altas probabilidades de inserción, las leyes, normas y disposiciones relativas al sector espacial son consideradas como el segundo obstáculo de mayor relevancia (en el relevamiento no se profundizó en el tema, por lo que queda para futuras investigaciones indagar sobre los cambios que se requerirían en este ámbito).

Respecto de que políticas podrían contribuir a resolver algunas de las limitaciones mencionadas, varios de los encuestados han remarcado la relevancia de políticas orientadas a promover una mayor interacción entre agentes privados y públicos, algo que, como se ha señalado arriba, es débil en el caso de los proyectos relevados. Al mismo tiempo, como se ha evidenciado en investigaciones previas, existen varios instrumentos de fomento a la cooperación aplicados por otros países, cuya implementación podría ser considerada para el caso argentino. Por ejemplo, la agencia espacial india (ISRO) lleva adelante programas de transferencia tecnológica a empresas locales del ecosistema espacial, que tienen por objetivo sustituir componentes importados, en sus proyectos a la vez que se disminuyen los costos de producción para estas empresas. Entre los mecanismos de transferencia tecnológica utilizados por la ISRO se encuentran el licenciamiento de uso de tecnología, pero también actividades de incubación de proyectos tecnológicos. Otro ejemplo de instrumentos de vinculación son los utilizados por la agencia espacial de la República de Corea (KARI), que realiza subcontrataciones e investigaciones conjuntas con empresas privadas con el objetivo de promover la transferencia de conocimientos, y además facilita el uso de sus instalaciones a estas empresas para que desarrollen proyectos de I+D. Otro caso es el de la agencia espacial japonesa (JAXA), donde los mecanismos de vinculación utilizados por la misma incluyen el licenciamiento de las patentes de sus desarrollos, el alquiler de su infraestructura tecnológica y la prestación de servicios de parte de su personal a agentes privados, y la realización de proyectos de I+D en conjunto con empresas japonesas[132], a las cuales además ayuda a impulsar la comercialización de sus productos (López et al., 2021). Dada la calidad y cantidad de instituciones estatales, universitarias, y centros de I+D que en la Argentina realizan actividades ligadas al sector espacial, en muchos casos con infraestructura sumamente valiosa, una mayor conexión con el sector privado podría

[132] Ver programa JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation (J-SPARC).

agilizar los proyectos de desarrollo de las *startups*. Esto, según algunos especialistas, podría lograrse fomentando la realización de acuerdos de cooperación entre estas instituciones y el sector privado a través de marcos normativos más favorables a tal propósito[133].

A pesar de que la falta de capital humano no ha sido resaltada como uno de los mayores obstáculos en el relevamiento, la mayoría de los encuestados ha comentado la existencia de dificultades para retener el capital humano local de alta calidad. Esto se debe, en parte, a que la diferencia salarial con otros países que también demandan las mismas calificaciones es muy grande. De hecho, tal como se mencionó en los proyectos de las *startups* relevados, también algunos encuestados recordaron que varios proyectos que están radicados en EE. UU. utilizan mano de obra que se encuentra en la Argentina.

**Tabla 2. Limitaciones y obstáculos para la participación de actores argentinos en actividades con baja y alta posibilidad de inserción.**

| Limitaciones y obstáculos | Baja posibilidad de inserción (Puntaje) | Alta posibilidad de inserción (Puntaje) | Puntaje total por obstáculo |
|---|---|---|---|
| Falta de financiamiento para la inversión | 81 | 77 | 158 |
| Leyes, normas y disposiciones relativas al sector espacial | 50 | 75 | 125 |
| La forma en la cual Argentina lleva adelante su política de comercio exterior | 58 | 65 | 123 |
| Falta de incentivos impositivos | 60 | 62 | 122 |
| Escasa relación con empresas de otros países | 52 | 62 | 114 |
| Falta de capacidades tecnológicas | 54 | 56 | 110 |
| Falta de capital humano | 52 | 54 | 106 |
| Escasa relación con agencias espaciales de otros países | 48 | 49 | 97 |
| Otras | 40 | 40 | 80 |

*Fuente: elaboración de los autores en base a información recogida en el trabajo de campo.*

*Nota: las actividades consideradas con baja y alta posibilidad son aquellas para las cuales los encuestados asignaron en las preguntas 5 a 13 del anexo (ver - Anexo - Encuesta nuevas tendencias del sector espacial) un puntaje de 0 o 1, o de 2 y 3 respectivamente.*

También se le consultó a los especialistas si los objetivos del programa espacial argentino deberían adaptarse a las nuevas tendencias del sector. Si bien no hubo un consenso al respecto, quizás la visión que, a criterio de los autores, refleja la mayor parte de las respuestas es que la adaptación a las nuevas tenencias debe coexistir con proyectos tecnológicos que permitan incrementar la base de conocimiento que propicie el desarrollo de las tecnologías que aún no se dominan localmente. Entre los puntos a favor de una reconsideración de los objetivos se mencionaron ejemplos particulares, como la gran distancia que existe entre la frontera tecnológica actual y los diseños estipulados para los satélites de telecomunicaciones en el Plan Satelital Geoestacionario Argentino (2015-2035) contenido en la Ley No. 27.208 del 2015 [134]. Otro punto reiterado fue la necesidad de cumplir con los tiempos propuestos para

[133] Algunas experiencias exitosas de cooperación llevadas adelante por las agencias de India, Japón y Corea del Sur fueron reseñadas en López et al. (2021).

[134] Este punto se desarrolla en detalle en Pascuini (2020).

los proyectos, algo que en general no ha sucedido ni con los objetivos del Plan Espacial Nacional ni con el Plan Satelital Geoestacionario.

Finalmente, respecto del incremento de la participación privada en las actividades espaciales a nivel global, se les consultó a los especialistas su apreciación sobre la posibilidad de replicar esa tendencia en la Argentina. De las respuestas vuelve a surgir con mucha claridad lo que fue señalado como la primera limitación para la inserción de actores argentinos en las nuevas tendencias: la dificultad de conseguir financiamiento para las inversiones. Los proyectos del sector se caracterizan por un alto grado de incertidumbre sobre su éxito, y en la Argentina las posibilidades de conseguir capital de riesgo son muy reducidas, por lo que, como se ha relevado en las entrevistas, varios proyectos buscan una radicación en el exterior para poder captar este tipo de financiamiento. Este factor, más otros aspectos antes mencionados, como la inestabilidad macroeconómica y la falta de apoyo para acceder a mercados externos y abastecerse de insumos que no se producen localmente, pueden estar limitando la potencialidad de desarrollo de emprendimientos privados en el sector espacial argentino.

## 4. Conclusiones

Nos encontramos frente a un cambio radical en la actividad espacial, caracterizado en primer lugar por una gran amplitud de actividades y proyectos sumamente ambiciosos, que van desde el turismo espacial hasta los viajes interestelares, pasando por el regreso del ser humano a la Luna y la minería de asteroides, entre otras tendencias en curso. El segundo fenómeno que caracteriza esta etapa es la creciente participación del sector privado y su acceso a tecnología que antes era dominada por las agencias espaciales.

El conjunto de actividades incluidas en lo que la OECD denomina "Economía del Espacio" ha generado, a nivel global, ingresos en el 2020 por un monto que se aproxima a los USD 370 mil millones, y aunque sufrió el impacto de la pandemia de Covid-19, ha mostrado claros signos de resiliencia, con más de 114 lanzamientos realizados durante el 2020 (aproximadamente el doble que en 2014). Todo indica que el volumen de este mercado seguirá incrementándose a futuro, visto no solo el despliegue de nuevas actividades espaciales como las mencionadas más arriba (y otras exploradas a lo largo del texto), sino también el creciente uso de servicios basados en tecnologías satelitales para actividades desarrolladas en la Tierra.

La revisión del despliegue de estos fenómenos a escala global ha planteado el interrogante sobre cuál es la participación de proyectos argentinos en las nuevas tendencias. Este trabajo se ha concentrado en proyectos privados, dado que los de las instituciones centrales del ecosistema espacial –CONAE, ARSAT, INVAP- han sido discutidos en documentos previos (López et al., 2018, 2021; López et al., 2017; López & Pascuini, 2021, 2018; Pascuini, 2020). A tal fin, se han relevado, a través del análisis de la información disponible públicamente y de entrevistas con sus principales responsables y/o directivos, siete proyectos de *startups* que buscan insertarse en actividades tales como la conformación de constelaciones de satélites de órbita baja (de IoT y de observación de la Tierra), la provisión de servicios de lanzamiento para nichos particulares de satélites pequeños, el desarrollo de tecnologías de conexión láser en el espacio, y la prestación de servicios en órbita. A las entrevistas se le sumó una encuesta con especialistas de distintas entidades y empresas del sector espacial local que apuntó a identificar cuáles son las nuevas tendencias en las que los actores argentinos tienen mayores posibilidades de inserción, los factores habilitantes y los principales obstáculos a superar.

Los proyectos relevados están en diferentes estadios de madurez, desde algunos, como Satellogic, que tienen ya una actividad comercial consolidada, hasta otros que están recién en sus etapas iniciales de desarrollo. En cualquier caso, se trata de iniciativas que todavía deben sortear diferentes obstáculos, de naturaleza tecnológica, organizacional, financiera y comercial, para convertirse en emprendimientos

económicamente sustentables. Para sortear los escollos financieros varias de estas iniciativas se han radicado o han abierto oficinas en el exterior (o piensan hacerlo a futuro). Un hecho que puede resultar a priori curioso es que, pese a las significativas capacidades acumuladas en los actores principales del ecosistema espacial argentino a lo largo de varias décadas, la vinculación de estos nuevos proyectos con el entramado de empresas e instituciones del sector espacial local es muy débil. Según lo relevado en el trabajo de campo, esto resultaría, en parte, del hecho de que las empresas prefieren concentrar al interior sus actividades de I+D y, también, de la falta de mecanismos ágiles para interactuar con las instituciones de CyT locales. Sin embargo, se trata de un tema que por su relevancia merece ser abordado con mayor detalle en futuros trabajos.

Yendo a los resultados de la encuesta, el capital humano disponible en el país y la existencia de proyectos (tanto de los actores centrales del ecosistema espacial, como de universidades e instituciones de CyT y de empresas privadas) relativamente avanzados son el justificativo general para considerar que existen posibilidades altas de inserción en actividades vinculadas a la conformación de constelaciones de satélites en órbita baja para IoT y para observación de la Tierra, y al desarrollo de nuevas tecnologías, en particular la comunicación láser. Por su parte, en el caso de las actividades de lanzamiento, aún con conocimiento de los proyectos de acceso al espacio de la CONAE y de las *startups* privadas, los encuestados no esperan que la inserción comercial en estas actividades pueda materializarse en el futuro cercano. Lo mismo ocurre con servicios en órbita, donde se ha relevado un proyecto privado que no parece ser muy conocido todavía en el ámbito local.

Respecto de los principales obstáculos a enfrentar por los proyectos argentinos que apuntan a insertarse en las nuevas tendencias globales se encuentran el acceso a financiamiento y algunas regulaciones que dificultan el acceso a insumos y componentes que los proyectos requieren para sus desarrollos. Asimismo, en línea con lo mencionado antes, en la encuesta se mencionó la dificultad para articular interacciones entre las nuevas iniciativas privadas y el ecosistema espacial local, incluidos los actores centrales como ARSAT e INVAP y las instituciones de CyT del sector, que permitan aprovechar el capital físico y humano y los conocimientos acumulados en estas últimas. Esta dificultad, que ya ha sido relevada en trabajos previos, es algo para lo cual en otros países como Japón, Corea e India se han identificado instrumentos, implementados por sus agencias espaciales, que propician tanto la transferencia de tecnología y experiencia a actores más incipientes (como las *startups* relevadas en este trabajo), como el uso de la infraestructura tecnológica disponible en las agencias espaciales (ver López et al., 2021).

Finalmente, cabe aclarar que este trabajo tiene una naturaleza básicamente exploratoria, en tanto aborda temas novedosos a escala global y, mucho más, a nivel local. Los resultados obtenidos de las entrevistas y encuestas proporcionan entonces un primer acercamiento a las oportunidades y obstáculos existentes para que Argentina se inserte en las nuevas tendencias de la economía del espacio a nivel global. Esperamos que futuros trabajos aporten nueva evidencia que ayude a la toma de decisiones en el ámbito público y privado sobre un tema relevante para el proceso de desarrollo económico en la Argentina, vista la acumulación de capacidades en el área, algo inusual para un país emergente, y más aún en América Latina. Este es un activo que no debería desaprovecharse en un escenario en donde la actividad espacial tendrá cada vez más amplias repercusiones económicas, tanto directas como indirectas.

## Referencias

Abdelkhalik, O., Mortari, D., & Park, K. (2005). *Satellite Constellation Design for Earth Observation*. 5–148.

Baiocchi, D., & Welser IV, W. (2015). The democratization of space. *Foreign Aff.*, *94*, 98.

European Space Agency (2021). *ESA'S ANNUAL SPACE ENVIRONMENT REPORT* (pp. 21–25). ESA. https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf

Gadea, A. M. (2018). El tratado de derecho del espacio ultraterrestre. *Revista Electrónica de Derecho Internacional Contemporáneo*, *año 1*(1), 60–64.

Garside, M. (2021). *Space mining—Statistics & facts*. Statista. https://www.statista.com/topics/3279/space-mining/

Haller, S., Karnouskos, S., & Schroth, C. (2009). The Internet of Things in an Enterprise Context. In J. Domingue, D. Fensel, & P. Traverso (Eds.), *Future Internet – FIS 2008* (Vol. 5468, pp. 14–28). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00985-3_2

Hava, H., Zhou, H. L., Mehlenbeck, C., King, A., Lombardi, E. M., Baker, K., Kaufman, A., & Correll, N. (2020). SIRONA: Sustainable Integration of Regenerative Outer-space Nature and Agriculture. Part 2 — Design Development and Projected Performance. *Acta Astronautica*. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.07.001

Hong, Y. (2018). The "Tiangong" Chinese Space Station project. *Frontiers of Engineering Management*, *5*(2), 278–283.

Jones, H. (2018). The recent large reduction in space launch cost. *48th International Conference on Environmental Systems*.

L. Scatteia & Y. Perrot. (2020). *Resilience of the Sapce Sector to the COVID-19 Crisis* (pp. 1–27). PwC. https://www.pwc.fr/fr/assets/files/pdf/2020/05/fr-france-en-resilience-of-the-space-sector-to-the-covid-19-crisis.pdf

Lattenero, M. A. (2021). Análisis de mercado para la inserción internacional de Constelaciones Dedicadas de Satélites (DSC): El caso de Satellogic. *Divulgatio. Perfiles Académicos de Posgrado*, *5*(15), 97–117. https://doi.org/10.48160/25913530di15.166

Liou, J. C. (2010). *Active Debris Removal and the Challenges for Environment Remediation*. ISTS. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120013266/downloads/20120013266.pdf

López, A. F., & Pascuini, P. (2021). Actores y capacidades en el sector espacial argentino. In A. López, J. Lachman, & P. Pascuini, *Nuevos sectores productivos en la economía argentina: Impactos sobre el desarrollo de políticas públicas*. Eudeba.

López, A. F., & Pascuini, P. D. (2018). *Institucionalidad y cambio tecnológico en las telecomunicaciones satelitales argentinas*.

López, A. F., Pascuini, P. D., & Ramos, A. H. (2017). *Al infinito y más allá: Una exploración sobre la economía del espacio en Argentina*.

López, A., Pascuini, P., & Alvarez, V. (2021). *Integración local y derrames tecnológicos en el sector espacial argentino: Situación y potencialidades*. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_8_-_sector_espacial_argentino_1.pdf

López, A., Pascuini, P., & Ramos, A. (2018). Climbing the Space Technology Ladder in the South: The Case of Argentina. *Space Policy*, *46*, 53–63. https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.06.001

Madoery, P. G., Fraire, J. A., & Finochietto, J. M. (2016). Analysis of communication strategies for earth observation satellite constellations. *IEEE Latin America Transactions*, *14*(6), 2777–2782.

Magliarditi, E. E. A. (2020). *Tradespace analysis for Earth Observation Constellations: A value driven approach*. Massachusetts Institute of Technology.

Mark, C. P., & Kamath, S. (2019). Review of Active Space Debris Removal Methods. *Space Policy*, *47*, 194–206. https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2018.12.005

National Aeronautics and Space Administration (2020). *NASA's Lunar Exploration Program Overview* (pp. 1–74). NASA. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2012). *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*. OECD. https://doi.org/10.1787/9789264169166-en

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2019). *The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy*. OECD. https://doi.org/10.1787/c5996201-en

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2020a). *MEASURING THE ECONOMIC IMPACT OF THE SPACE SECTOR*. https://www.oecd.org/sti/inno/space-forum/measuring-economic-impact-space-sector.pdf

Organización para la Cooperación y el Deasarrollo Económico. (2020b). *The impacts of COVID-19 on the space industry*. OECD. https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/the-impacts-of-covid-19-on-the-space-industry-e727e36f/

Ortega B., R., Pérez C., C., Díaz B., K., & Claret M., M. (1999). *Agricultura de precisión. Introducción al manejo sitio—Específico*. https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/28468

Pascuini, P. (2020). De la acumulación de capacidades tecnológicas a la planificación geoestacionaria en la Argentina. *Ciencia y Poder Aéreo*, *15*(2), 53–67.

Pelton, J. N. (2019). *Space 2.0: Revolutionary advances in the space industry*. Springer.

Pyne, S. J. (1988). Space: A third great age of discovery. *Space Policy*, *4*(3), 187–199. https://doi.org/10.1016/0265-9646(88)90061-6

Rapp, L., Topka, M., & Mallowan, L. (2021). Which Jurisdiction for Private In-space Assembled Autonomous Platforms? *Space Policy*, *56*, 101413. https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2021.101413

Roselló, J. (2011). Vuelos tripulados a la Luna. In A. Ginard, G. X. Pons, & D. Vicens (Eds.), *Història i ciència: Commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna*. Societat d'Història Natural de les Balears.

Ross, S. D. (2001). Near-earth asteroid mining. *Space*, 1–24.

SIA. (2015). *2015 State of the Satellite Industry Report* (State of the Satellite Industry Report, pp. 1–31). Satellite Industry Association. https://brycetech.com/reports/report-documents/SIA_SSIR_2015.pdf

SIA. (2021). *2021 State of the Satellite Industry Report* (State of the Satellite Industry Report, pp. 1–3). Satellite Industry Association. https://brycetech.com/reports/report-documents/SIA_SSIR_2021.pdf

Such, M. (2018, September 1). *La carrera por ser el primero en la minería de asteroides: Así se está planteando la "fiebre del oro" espacial*. Xataka. https://www.xataka.com/espacio/carrera-ser-primero-mineria-asteroides-asi-se-esta-planteando-fiebre-oro-espacial

Tavana, M., & Hatami-Marbini, A. (2011). A group AHP-TOPSIS framework for human spaceflight mission planning at NASA. *Expert Systems with Applications*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.108

UN. (2020). *Director: Statements*. https://www.unoosa.org/oosa/en/aboutus/director/statements.html

Weinzierl, M. (2018). Space, the final economic frontier. *Journal of Economic Perspectives*, *32*(2),173–192.

Weinzierl, M., & Sarang, M. (2021). *The Commercial Space Age Is Here*. Harvard Business Review. https://hbr.org/2021/02/the-commercial-space-age-is-here

Wertz, J. R., Everett, D. F., & Puschell, J. J. (2011). Space Mission Engineering: The New SMAD. *Space Mission Engineering: The New SMAD*, *13*.

## Anexo - Encuesta nuevas tendencias del sector espacial

**Introducción**

El sector espacial atraviesa desde hace unos años una etapa caracterizada por fuertes avances tecnológicos, la aparición de nuevas actividades y la mayor participación del sector privado. El Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (UBA-CONICET), que desde hace algunos años viene trabajando en el sector, se encuentra realizando un estudio que busca relevar estas nuevas tendencias y las posibilidades de que actores argentinos participen en aquellas. Por ese motivo, queremos contar con la opinión de expertos y referentes del área y lo invitamos a Ud. a responder esta breve encuesta entendiendo que sus respuestas serán de suma relevancia para nuestro trabajo. Muchas Gracias.

En cualquier caso, donde por su pertenencia institucional prefiera no responder simplemente complete el espacio con "NA".

**Identificación**

En el trabajo se podrán mencionar las instituciones a las que pertenecen quienes respondieron esta encuesta pero no se mencionarán sus nombres ni sus cargos, ni se revelarán las respuestas individualizadas a nadie ajeno al equipo de trabajo. Sin embargo, con el objetivo de poder eventualmente realizar repreguntas sobre sus respuestas necesitamos poder identificarlos con los siguientes datos:

1. Nombre y Apellido:
2. Institución:
3. Cargo en la institución:
4. Email de contacto:

**Oportunidades en General**

¿Cuán alta piensa que es la posibilidad de que actores del ecosistema espacial argentino se inserten en actividades dentro de los siguientes grupos?

5. Misiones tripuladas y Turismo espacial:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

6. Misiones no tripuladas y de exploración del espacio (e.g. misiones de exploración a Marte, viajes interestelares, sistemas de desvío de asteroides, etc.):

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

7. Agricultura espacial y Minería de Asteroides:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

8. Resolución de contaminación espacial (e.g. residuos espaciales, contaminación visual, etc.):

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

9. Nuevas tecnologías (e.g. comunicación vía láser, velas solares):

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

10. Constelaciones de satélites de observación:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

11. Constelaciones de satélites de IoT:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

12. Constelaciones de satélites de telecomunicación no-GEO:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

13. Servicios comerciales de lanzamiento:

| | 0 | 1 | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Improbable | | | | | Altamente probable |

14. ¿Considera que hay alguna otra actividad en la que tradicionalmente los actores argentinos no se han insertado y que deberíamos considerar? (independientemente de que los actores argentinos tengan o no capacidades para insertarse en ella)

| |
|---|
| |

15. Para aquellos grupos de actividades a los que le asignó mayor probabilidad de inserción (2 y 3) indique los motivos de su puntuación, y por favor especifique las tareas específicas que podrían desarrollarse y los actores argentinos (si es que ya existen) que podrían llevarlas adelante a futuro en cada caso.

| |
|---|
| |

**Sección oportunidades en particular**

16. Varias empresas e instituciones en el mundo están desarrollando actividades asociadas a las comunicaciones láser. ¿Cree que hay actores argentinos que se pueden desarrollar en estas actividades? ¿En qué horizonte de tiempo? ¿Por qué? ¿Conoce alguno que ya lo haga o tenga planes concretos para hacerlo?

| |
|---|
| |

17. Algunas empresas e instituciones en el mundo ya están prestando servicios en órbita (e.g. remolcadores espaciales, recarga de combustible). ¿Cree que hay actores argentinos que se pueden desarrollar en estas actividades? ¿En qué horizonte de tiempo? ¿Por qué? ¿Conoce alguno que ya lo haga o tenga planes concretos para hacerlo?

18. La construcción (con fines comerciales) de pequeños satélites para LEO se observa como una actividad en pleno auge ¿Cree que hay actores argentinos que puedan participar de esta actividad? ¿En qué horizonte de tiempo? ¿Por qué? ¿Conoce alguno que ya lo haga o tenga planes concretos para hacerlo?

    Dado el gran espectro de complejidad que abarca esta actividad, desde la fabricación de PocketQubes hasta la conformación de constelaciones en LEO, por favor especifique tanto como pueda a que segmento refiere su respuesta. Por favor responda esta pregunta exceptuando a las empresas Satellogic e INVAP.

19. En varios países se observa el establecimiento de empresas fabricantes de lanzadores y prestadoras de servicios comerciales de lanzamiento. ¿Cree que hay actores argentinos que puedan participar de esta actividad (comercial)? ¿En qué horizonte de tiempo? ¿Por qué? ¿Conoce alguno que ya lo haga o tenga planes concretos para hacerlo?

20. ¿Conoce algún otro desarrollo, u otro proyecto concreto de desarrollo, o potencialidad de actores argentinos para insertarse en algún otro grupo de actividades mencionado, o que no esté mencionado pero considere relevante y no tradicional para los actores argentinos? (Si la respuesta es afirmativa, mencione la actividad y el actor).

**Obstáculos y limitaciones**

21. Para los grupos de actividades a los que le asignó mayor probabilidad de inserción (2 y 3), ordene la relevancia de las siguientes limitaciones para la inserción de actores argentinos, asignando un número de 1 a 9 (en donde 1 es la menos relevante y 9 es la más relevante). Si no considera "Otras" puede ponerla en ultimo lugar.

| Relevancia (Número) | Número de orden |
|---|---|
| Falta de capital humano. | |
| Falta de capacidades tecnológicas. | |
| Falta de financiamiento para la inversión. | |
| Escasa relación con agencias espaciales de otros países. | |
| Escasa relación con empresas de otros países. | |
| La forma en la cual Argentina lleva adelante su política exterior. | |
| Leyes, normas y disposiciones relativas al sector espacial. | |
| Falta de incentivos impositivos. | |
| Otras. | |

22. Si mencionó “otras” por favor especificar.

| |
|---|
| |

23. Para los grupos de actividades a los que le asignó menor probabilidad de inserción (0 y 1), ordene la relevancia de las siguientes limitaciones para la inserción de actores argentinos, asignando un número de 1 a 9 (en donde 1 es la menos relevante y 9 es la más relevante).

| **Relevancia (Número)** | **Número de orden** |
|---|---|
| Falta de capital humano. | |
| Falta de capacidades tecnológicas. | |
| Falta de financiamiento para la inversión. | |
| Escasa relación con agencias espaciales de otros países. | |
| Escasa relación con empresas de otros países. | |
| La forma en la cual Argentina lleva adelante su política exterior. | |
| Leyes, normas y disposiciones relativas al sector espacial. | |
| Falta de incentivos impositivos. | |
| Otras. | |

24. Si mencionó “otras” por favor especificar.

| |
|---|
| |

25. ¿Cuáles piensa que son las políticas que podrían contribuir a la resolución de estas limitaciones? ¿Por qué y de qué manera?

| |
|---|
| |

26. ¿Cree que los objetivos del programa espacial argentino deberían adaptarse en mayor medida a las nuevas tendencias del sector antes mencionadas? ¿Por qué?

| |
|---|
| |

27. En los últimos años las iniciativas privadas han aumentado considerablemente su participación en la actividad espacial. ¿Qué opinión tiene de esta tendencia en el caso argentino?

| |
|---|
| |

**Sobre los Documentos de Trabajo**

La serie de Documentos de Trabajo del IIEP refleja los avances de las investigaciones realizadas en el instituto. Los documentos pasan por un proceso de evaluación interna y son corregidos, editados y diseñados por personal profesional del IIEP. Además de presentarse y difundirse a través de la página web del instituto, los documentos también se encuentran disponibles en la biblioteca digital de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, el repositorio digital institucional de la Universidad de Buenos Aires, el repositorio digital del CONICET y en la base IDEAS RePEc.

CONICET UBA
I I E P

INSTITUTO INTERDISCIPLINARIO
DE ECONOMÍA POLÍTICA DE BUENOS AIRES
Universidad de Buenos Aires | Facultad de Ciencias Económicas

Av. Córdoba 2122 - 2° piso (C1120 AAQ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
+54 11 5285-6578 | iiep-baires@fce.uba.ar
www.iiep-baires.econ.uba.ar
@iiep_oficial