

DOSSIER

Escenarios futuros sobre la cadena de valor de los servicios satelitales de observación terrestre de Argentina al 2040

Future scenarios regarding value chain of earth observation satellite services in Argentina

Martín Nahuel Moretti

Universidad Abierta Interamericana

[martinnmoretti@gmail.com](mailto:martinmoretti@gmail.com)

Fecha de recepción: 28/8/2023. Fecha de aceptación: 18/10/2023



URL de la revista: revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/cuyonomics
ISSN 2591-555X

Esta obra es distribuida bajo una Licencia Creative Commons Atribución No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional

Resumen

La economía del espacio es uno de los sectores productivos y económicos que más creció en el siglo XXI producto de varios factores, entre ellos el aumento de nuevas tecnologías espaciales. Argentina no queda exenta de esto, puesto que en los últimos diez años se robusteció el sector vinculado al ámbito satelital y sus servicios derivados. En tal sentido, este trabajo busca analizar cómo podría posicionarse la cadena de valor de los servicios satelitales de observación terrestre de Argentina en el mercado global hacia el 2040. Se utilizaron herramientas metodológicas de la prospectiva estratégica divididas en tres instancias: tendencias, diagnóstico y análisis prospectivo. A través de consultas a expertos y análisis morfológico, los resultados obtenidos fueron el desarrollo de cuatro posibles futuros escenarios del comportamiento de la cadena de valor ante el impacto de factores externos al ecosistema de análisis.

Palabras clave: servicios satelitales de observación, posibles futuros escenarios, análisis sistémico.

Abstract

The space economy is one of the most productive economic sectors that grew in the 21st century as a result of various factors, including the increase in new space technologies, among others. Argentina is not an exception, since during the last ten years the sector has been strengthened, especially those activities related to the satellite field and its derived services. In this sense, the objective of this work was to analyze the way in which Argentina's value chain of earth observation satellite services could be positioned within the global market by 2040. To achieve such goal, strategic foresight methodological tools divided into three instances were used: trends, diagnosis and prospective analysis. Through consultations with experts and morphological analysis, the results obtained were the development of four possible future scenarios of the value chain behavior considering the impact of external factors on the analysis ecosystem.

Keywords: satellite observation services, possible future scenarios, systemic analysis.

Journal of Economic Literature (JEL): O21; O3

Introducción

El sector espacial comenzó a posicionarse como un nuevo mercado a partir del crecimiento de nuevas tecnologías¹ que permitieron mayor accesibilidad y presencia en el espacio. Esto derivó en que se puedan establecer en órbita cientos de satélites de países o de empresas privadas que brindan diversos servicios, como telecomunicaciones, navegación, meteorología, observación de la tierra y aplicaciones científicas, entre otros.

Argentina se encuentra en una posición destacable en el desarrollo de tecnología espacial, particularmente vinculada a la construcción de satélites y sus servicios derivados. Ante un entorno de mayor competitividad por la cantidad de empresas y países que comienzan a ingresar al rubro, dicho contexto motivó que este estudio se haya limitado al segmento satelital de observación terrestre² argentino. El objetivo de investigación plantea identificar cuáles serían las posibles oportunidades de negocios e impactos del entorno externo que tendría la cadena de valor de los servicios satelitales de observación terrestre de Argentina hacia el 2040³.

Cabe destacar que para este trabajo no se tuvieron en cuenta problemáticas a nivel nacional con el fin de concentrar el análisis en los factores externos del ecosistema que podrían impactar en un futuro próximo. A su vez, considerando que existe un porcentaje predominante de utilizar la órbita baja⁴ para las tareas de observación terrestre, este trabajo tiene como foco el estudio de la actividad satelital en dicho espacio con su interacción terrestre en Argentina.

1 Ejemplo de ello son la robótica, la miniaturización de la tecnología y la inteligencia artificial.

2 Si bien Argentina cuenta con desarrollos satelitales en el ámbito de telecomunicaciones, se seleccionó esta temática con el fin de limitar el abordaje conceptual, ya que cada sistema tecnológico posee funciones, instrumentos, características técnicas y servicios derivados diferentes. También porque Argentina es un actor relevante en este segmento y posee proyectos a mediano plazo.

3 La proyección temporal de este estudio se prolonga hacia el 2040 con el fin de visualizar posibles escenarios futuros.

4 Es la órbita donde existe un rango de altitud que va desde los 200 a los 1200 km, aproximadamente. Mayoritariamente se localizan satélites de observación o constelación vinculados a las telecomunicaciones.

Abordajes conceptuales

Para el establecimiento teórico de este trabajo se tuvieron en consideración los conceptos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) sobre economía del espacio, definida como la fabricación y el uso de infraestructura para el espacio, las aplicaciones que hacen funcionar y el conocimiento científico que se deriva de ello (OECD, 2012). Sobre el caso argentino y la economía del espacio, se utilizaron los conceptos de López et al. (2019) para abogar sobre tendencias pasadas y actuales de los servicios satelitales de observación. También se mencionaron informes oficiales de los principales organismos estatales, como la Comisión Nacional de Actividades Espaciales⁵ (CONAE, 2021).

En cuanto a antecedentes, se encontraron estudios similares de la Subsecretaría de Estudios y Prospectiva del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina sobre temáticas como biotecnología, nanotecnología, industrias, agroindustrias, tecnologías de información, etc. (MCTI, 2023). No obstante, no se hallaron trabajos vinculados a la temática espacial, motivo por el cual incentivó el estudio de esta temática.

Para este trabajo, se consideró el concepto cadena de valor como una secuencia de actividades necesarias para la elaboración de un determinado producto y los servicios asociados, como la comercialización o la distribución (Perez Ibañez, 2019). En este marco, se entiende por “cadena de valor de los servicios satelitales de observación de Argentina” a todo el ciclo que constituye este ecosistema, compuesto por la proyección inicial (dirección, inversión e investigación), la tecnología aplicada (desarrollo y ensayos técnicos), la sistematización técnica (colocación en órbita y puesta en funcionamiento) y la gestión del servicio (mantenimiento de los sistemas; obtención de productos; modelos de negocio). Estas categorías analíticas fueron formuladas a partir de conceptos de López et al. (2019) y AEB (2022).

Con el fin de considerar posibles escenarios es pertinente visualizar todo el diagrama estructural. Por lo tanto, a lo largo del trabajo, al mencionar “servicios satelitales de observación terrestre” se hace referencia principalmente a la cadena de valor que representa dicho servicio y no especialmente a los productos obtenidos o la gestión comercial al respecto.

El trabajo se focaliza en los actores que se encuentran en todo el ciclo constitutivo de la cadena mencionada, como el Estado argentino, mediante la CONAE y la empresa Vehículo Espacial Nueva Generación (VENG), o la empresa privada Sate-llogic⁶, puesto que son los que van a traccionar de mayor manera el ecosistema. No

5 Organismo encargado de centralizar, organizar, administrar y controlar las actividades espaciales de Argentina.

6 Principal empresa privada argentina dedicada al desarrollo satelital de satélites de observación a la tierra.

obstante, también se mencionan otros, como INVAP, Space Sur, CNEA, universidades y empresas proveedoras de componentes.

Metodología

Es un trabajo cualitativo-cuantitativo que buscó analizar una problemática de forma sistémica para comprender los elementos que constituyen y traccionan la cadena de valor. En este marco, la recolección y la utilización de datos fueron de fuentes primarias y secundarias (documentos oficiales de entidades públicas y privadas, artículos periodísticos y académicos, videos, entrevistas a profesionales del sector, asistencia a congreso académico y charlas sobre la temática).

En cuanto a los aspectos metodológicos, se utilizaron herramientas de la disciplina de estudios de futuros,⁷ especialmente de la prospectiva estratégica. Compuesta por un conjunto de enfoques epistemológicos, métodos y herramientas, su implementación permite visualizar posibles impactos, hechos, acciones, tendencias o bien, futuribles para la toma de decisiones en el presente.

Con el fin de visualizar dichos futuribles, Godet (2000) menciona la importancia que tiene la llamada *caja de herramientas*, que comprendería todas las metodologías que constituyen un método o una forma de entender cómo las dinámicas actuales podrían evolucionar. En tal sentido, podría considerarse como las fuerzas productivas que permiten visualizar la proyección, ya que se necesitan métodos de mayor rigurosidad, participativos y transversales a diversas disciplinas para poseer una visión compleja de las problemáticas (Godet, 2007).

Las herramientas metodológicas de este trabajo estuvieron centradas en tres procesos. El primero focalizado en describir las tendencias globales (Beinstein, 2016) de la tecnología y los servicios satelitales con el fin de caracterizar conceptos generales de la economía del espacio. Este apartado sirvió para contextualizar el ecosistema satelital global, de vital importancia para procesos analíticos que *a posteriori* se trabajaron. Los datos e informaciones utilizadas para este proceso fueron un artículo periodístico (Forbes, 2023), un artículo académico (López et al., 2019), un informe de un actor privado especializado (Satellite Industry Association, 2021) y una entrevista al CEO de Satellogic (*La Nación*, 2022).

El segundo proceso explora el diagnóstico general de la temática. Allí se buscó describir la evolución histórica del ámbito satelital de observación terrestre de Argentina. Para Godet (2007) resulta relevante delimitar el ecosistema de una problemática y entender su entorno para así determinar las variables esenciales.

⁷ Ya que habría diversas formas y tipos de encarar el futuro (futuribles) en los cuales variarían en los métodos, tiempos y formas de empleo. Se destacan la escuela francesa de la prospectiva estratégica (que es tomada por la escuela latinoamericana), la inglesa a partir del denominado *foresight* y otras vinculadas a la prospectiva tecnológica, social, entre otras.

Para ello se diagramó un ecosistema de elementos dinámicos compuesto por un sistema, subsistema, componentes y variables⁸ que dio como resultado la visualización de la cadena de valor. Fueron utilizadas informaciones provenientes de la página de la Asociación Argentina de Tecnología Espacial (AATE, 2023), documentos oficiales de la CONAE (2021, 2023a), un artículo académico de especialidad en la materia (Pascuini y López, 2022) y una entrevista del CEO de Satellogic (*La Nación*, 2022).

Por último, el tercer proceso se centró en el análisis prospectivo, constituido por cuatro instancias específicas. La primera de ellas fue la identificación de variables clave (Beinstein, 2016). Para esta instancia, a partir de la información detallada en las tendencias globales y en el diagnóstico, se realizó una valorización de las variables, en la cual se les otorgó una puntuación que sintetizaba el *grado de incertidumbre*⁹ (3, alto; 2, medio; 1, bajo; 0, nulo). El objetivo fue disminuir la cantidad de variables, considerando solo las más trascendentales del ecosistema (Godet, 2007). De las 22 variables se seleccionaron solo las que poseían un alto grado de incertidumbre.

La segunda instancia fue la utilización del método *Delphi* o de *consultas a expertos*. El método está compuesto por la formulación de preguntas, la selección de expertos, la aplicabilidad de las preguntas y la explotación de los resultados. Los cuestionarios deben ser precisos, independientes y cuantificables¹⁰ (Godet, 2007). Para este trabajo, se formularon 11 hipótesis¹¹ que fueron identificadas a partir del análisis de las tendencias globales descritas. Estas fueron diseñadas en forma de enunciado para luego ser enviadas a los profesionales seleccionados.

Se seleccionaron nueve expertos vinculados a la temática espacial y satelital de Argentina que efectúan su labor en diferentes partes de la cadena de valor, tanto a nivel público como privado (de los actores antes mencionados). En cuanto a la proyección inicial, se consultó a profesionales de Ciencias Políticas, Administración de Empresas y Derecho Internacional. En referencia al sector de tecnología aplicada, se consultó a profesionales de Ingeniería Aeroespacial y Periodismo Especializado. Sobre el sector de sistematización técnica, a un profesional de Sistemas de Información, y sobre el sector de gestión del servicio, a profesionales de Ciencias Económicas, Negocios Internacionales e Ingeniería Industrial.¹²

8 También llamado *árbol de pertinencia*, busca desagregar en capas menores el ecosistema de la problemática a tratar. No tendría que estar sujeta a la existencia de nexos entre nudos de un mismo nivel (Godet, 2007).

9 Refiere a la preponderancia que posee la variable dentro del ecosistema. A mayor incertidumbre, más relevancia, ya que una modificación a esta podría generar cambios estructurales en la cadena de valor.

10 Versan, por ejemplo, sobre probabilidades de realización de hipótesis o acontecimientos, la mayoría de las veces sobre datos de realización de acontecimientos.

11 El listado de hipótesis busca abarcar una diversidad de temas posibles. No obstante, no tuvo un objetivo particular en cuanto a la cantidad presentada.

12 La selección de expertos posee sus limitaciones puesto que cada uno de ellos trae consigo ciertos "sesgos" profesionales. Para dar solución a esta cuestión, se seleccionaron profesionales que se

En cuanto al proceso de valorización, se llevó a cabo en una sola sección de consulta enviada por correo electrónico en un período de 20 días. El objetivo fue completar una planilla que contenía 11 hipótesis y medir el grado de impacto sobre la cadena de valor que tendría cada uno de ellos en el caso de concretarse y/o extrapolarse. Para complementar la consulta, se les solicitó que justificaran su valoración y mencionen cuál sería el año en que se podrían configurar tales hechos. También se les dio la oportunidad de que mencionaran algunas otras que no estuvieran incluidas en la lista.

Luego, se sistematizaron las respuestas en gráficos y se seleccionaron las cuatro hipótesis de mayor puntuación (la cantidad facilitó los ejes para la construcción de los escenarios futuros). Para este apartado fue relevante la asistencia al Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE) del 2023 en Mendoza, que permitió el contacto con diversos especialistas en la materia (parte de los profesionales fueron contactados allí). Las hipótesis fueron elaboradas a partir de las tendencias globales descritas, tomando como información un artículo periodístico (*Forbes*, 2023), un artículo académico (López et al., 2019) y una entrevista al CEO de Satellogic (*La Nación*, 2022).

La tercera instancia fue la conformación de la caja morfológica, significativa para la construcción de escenarios. Dicha caja se diagrama como una simulación que tiende a manipular componentes del sistema, particularmente variables, generando así hipótesis alternativas al comportamiento tendencial (Beinstein, 2013) que permiten mostrar posibles bifurcaciones de las variables clave (Godet 2000). En esta instancia se realizó un cuadro de doble entrada para analizar el comportamiento de las variables clave en cada una de las hipótesis de mayor impacto (cada una de las variables tuvo una medición en base a indicadores que fueron diseñados gracias a los datos descriptos en el diagnóstico). Luego de arrojar posibles fluctuaciones, se graficaron relaciones causales entre las variables, dando lugar así a una cadena de eventos posibles.¹³

La cuarta instancia fue el diseño y narración de futuros escenarios. Escritos en tiempo pasado, los escenarios permiten observar el comportamiento de dichas variables en un posible futuro para tomar acciones en el presente (Godet, 2000; Beinstein, 2013). Respetando los ejes de las hipótesis, se plantearon cuatro escenarios de los cuales se narraron las relaciones causales planteadas con anterioridad.

encuentran en todo el proceso de la cadena de valor, con diferentes *know how* y perspectivas sobre la temática a evaluar. En cuanto a esto, las hipótesis diseñadas son generales del entorno, se buscó que cada uno pueda aportar una mirada sistémica de la problemática.

13 Se formularon escenarios posibles dentro del marco de la pertinencia, causalidad, coherencia (Godet, 2007), y no escenarios probables, ya que no se están indicando grados de probabilidad de ocurrencia.

Tendencias globales

La evolución de las tecnologías exponenciales, como la robótica, la miniaturización de la tecnología y la inteligencia artificial, ha generado un cambio paradigmático en una variedad de rubros comerciales. Este efecto también alcanzó al sector espacial, lo que ha incentivado una mayor inversión y participación de actores.

A raíz de una enorme variedad del mercado espacial para satisfacer diversas necesidades, cientos de empresas privadas comenzaron a interiorizarse y a profundizar las inversiones en este sector para la construcción de satélites, vectores, *softwares*, como así también de componentes y combustibles más sustentables.

Tras estos eventos, las expectativas de negocio fueron cambiando. Principalmente a partir de observar los ingresos de la economía del espacio a nivel global, que crecieron un 15 % en seis años, pasando de USD 322,7 mil millones en 2014 a USD 371 mil millones en 2020 (SIA, 2021). Según Emiliano Kargieman, CEO de Satellogic, esta confluencia de tendencias empezó a establecerse durante la década del 2010, y permitió un espacio para potenciar este modelo de negocio y generar así una nueva ola de desarrollo espacial, que es liderada por empresas o *start-ups* (*La Nación*, 2022).

Uno de los impactos de estas tendencias en el subsector de observación terrestre se puede encontrar en la estandarización e interfaces de lanzamiento.¹⁴ Esto produjo mayores innovaciones en la construcción de diseños por computadora, siendo actualmente importantes para disminuir los tiempos de desarrollo. Sus impactos fueron una manufactura rápida y una optimización de los diseños de los ensayos a través de impresión 3D (*La Nación*, 2022).

La tendencia indica que la industria espacial se encuentra en un proceso de reducción del tamaño de los satélites, también llamado *miniaturización*, similar a la tendencia con otras tecnologías, permitiendo así una disminución de los costos y tiempos de desarrollo y producción (López et al., 2019). En línea con lo mencionado, la inteligencia artificial contribuye a mejorar los servicios brindados por las constelaciones de satélites de observación a partir de la implementación de herramientas de *machine learning* que analizan una gran cantidad de imágenes en detalle, obteniendo de esta manera más información para generar predicciones (Pascuini y López, 2022).

Estos cambios significaron variaciones en ciertas lógicas productivas y un fortalecimiento del subsector de tecnología satelital de observación terrestre. Si bien los Estados siguen siendo los actores principales a través de sus políticas espaciales, se observa a la empresa privada como motor del desarrollo de nuevos satélites y lanzadores. Esto permite que disminuya la aversión al riesgo de los países que desean invertir en su desarrollo espacial.

¹⁴ Antes era un trabajo analógico, como, por ejemplo, los ensayos en cámaras de vacío y mesas de vibración.

Según Emiliano Kargieman, la merma en los costos fue clave para que se configurara la nueva economía del espacio (*La Nación*, 2022). Mencionó que anteriormente el transbordador espacial insumía entre cincuenta y ochenta mil dólares por kilo en su carga útil, dependiendo del sistema utilizado para colocarlo en órbita. Luego se estabilizó en un orden de los USD 20.000 por kilo. En el 2022 el costo fue de alrededor de los USD 5000 por kilo de carga útil, principalmente a partir de la aparición de nuevas empresas y tecnologías.

La disminución permite colocar satélites en órbita con un costo mucho menor, y esto impacta en la construcción de modelos de negocio que antes no eran rentables con los precios por kilo tan altos. Esto genera los incentivos para que las empresas disminuyan la aversión al riesgo e inviertan en este sector (*La Nación*, 2022).

Estas modificaciones en el sector espacial generaron un aumento significativo de satélites de observación terrestre en órbita, lo que permite una mayor capacidad de revisita. “Durante el 2013 había cerca de 120 satélites civiles de observación de la tierra operativos y alrededor de otros 40 militares. Estados Unidos, China, India, Europa y Francia encabezan la lista según la cantidad de misiones en marcha” (López et al., 2019, p. 118).

Durante este tiempo los satélites comerciales de observación facturaron aproximadamente USD 1.500.000.000 (López et al., 2019). En la actualidad, según Emiliano Kargieman, dichos servicios de observación dejan entre cuatro y cinco millones de dólares al año, pero en un mercado potencial podría aumentar significativamente, ya que es un subsector que se encuentra en alza (*La Nación*, 2022).

A pesar de que la pandemia por COVID-19 representó un impacto relativo para el sector espacial —entre otros aspectos, se pospusieron lanzamientos al espacio y hubo inconvenientes para el sostenimiento de la cadena de suministros y financiamiento (Pascuini y López, 2022)—, la tendencia no solo se mantuvo, sino que se acrecentó durante este período.

Según datos publicados en diciembre de 2022 por Euroconsult, empresa internacional de consultoría especializada en el sector espacial y satelital, el mercado global de observación de la Tierra llegará a los USD 7900 millones en 2031 (Forbes, 2023). Esto incluye satélites de tipo óptico, infrarrojo, pancromático y radar (este último es el tipo de satélites que conforman la constelación SAOCOM).

A partir de los instrumentos mencionados se obtiene información satelital con valor agregado que es utilizada para la solución de problemáticas en diversos sectores (minería, marítimo, seguridad, ambiente, etc.). A nivel global, hoy la información se comercializa a partir de 370 satélites que se encuentran en órbita, de los cuales 153 fueron lanzados en 2021. Según Euroconsult, en 2031, habrá alrededor de 1040 satélites en órbita para comercializar información (Forbes, 2023).

Esta situación global se encuentra dentro del incremento de la competencia entre grandes potencias en el mercado, especialmente Estados Unidos, China y Rusia, que han fomentado el aumento de las empresas del sector, proyectos, investigacio-

nes y vínculos público-privado para nuevas tecnologías y diseños de vanguardia. Paralelamente a ello, otra de las características relevantes del entorno global es el aumento considerable de la basura espacial.¹⁵

Diagnóstico

Antes de que el Estado argentino, mediante la CONAE, comenzara oficialmente a diseñar los primeros satélites de observación, existía un desarrollo. En agosto de 1996 fue puesto en órbita el primer satélite argentino denominado Musat-1 (o Víctor 1) a través del cohete de origen ruso Molniya. El satélite fue construido por la Asociación de Investigaciones Tecnológicas de Córdoba AIT y el Instituto Universitario Aeronáutico gracias a científicos que trabajaron en el antiguo programa Condor II (AATE, 2023). Sus objetivos fueron los de fotografiar al país con imágenes de baja resolución, para seguimientos meteorológicos y de masas hídricas. Según Eduardo Zapico, ingeniero integrante del equipo, esto generó conocimiento que en ese momento no existía en el país (Viano, 2021).

Ahora bien, el marco institucional se dio a partir de que la CONAE comenzó a estructurar su Plan Nacional. Si bien existía experiencia previa de científicos argentinos que habían trabajado a partir de la presentación de un proyecto satelital en conjunto con la agencia espacial estadounidense (NASA), no fue hasta noviembre de 1996 que se realizó la colocación del primer satélite científico argentino. Este fue el primero de la serie Satélites de Aplicaciones Científicas (SAC) que la CONAE diseñó y construyó en Argentina (CONAE, 2021).

Durante 1997 se inauguró la Estación Terrena Córdoba, ubicada en el Centro Espacial Teófilo Tabanera, con el objetivo de recepcionar, procesar, almacenar y distribuir información espacial generada por satélites (CONAE, 2021). Tras el éxito del primer lanzamiento, la NASA propuso a la CONAE realizar un segundo satélite para ser lanzado desde el transbordador espacial Endeavour. Eso hizo que se mantuvieran los desarrollos sobre la serie SAC. De esta manera, en 1998 se realizó el lanzamiento del satélite SAC-A.¹⁶ A diferencia del primero, que tardó cuatro años, el segundo se construyó en solo un año.

Cabe destacar que ninguno de los otros dos SAC mencionados fueron de observación de la Tierra. Dos años después, en noviembre de 2000, se puso en órbita el

¹⁵ Después de 63 años, con más de nueve mil lanzamientos de satélites, colisiones en órbita, armas antisatélite (ASAT) y misiles balísticos intercontinentales (ICBM), la cantidad de desechos espaciales aumentó a más de 128 millones (ESA, 2020). La mayoría de los objetos de desechos espaciales se concentran entre 500 y 1400 km. La población de desechos espaciales LEO podría aumentar durante los próximos 200 años, especialmente en estas altitudes (Pizarro, 2023).

¹⁶ Los instrumentos a bordo fueron cámara pancromática, antena de banda s y un magnetómetro (CONAE, 2021, p. 49).

tercer satélite de observación, denominado SAC-C.¹⁷ En la misión participaron la NASA y las agencias espaciales de Francia, Italia, Dinamarca y Brasil. El último de la sección SAC llegó tras casi once años, a partir de la contribución de otras agencias espaciales. Este fue denominado SAC-D¹⁸ (también Aquarius), diseñado y construido en Argentina con el fin de observar el océano, el clima y el medioambiente (CONAE, 2021).

Años más tarde el Estado argentino comenzó a trabajar en la constelación Satélite Argentino de Observación con Microondas (SAOCOM),¹⁹ conformada por los satélites argentinos SAOCOM 1A y SAOCOM 1B, lanzados en 2018 y 2020, respectivamente (CONAE, 2021). Fabricados en Argentina, diversos actores estuvieron implicados en su desarrollo, como la empresa INVAP, la contratista principal, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el laboratorio GEMA de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la empresa VENG a nivel nacional (CONAE, 2021). Fue un desarrollo conjunto con la Agencia Espacial Italiana (ASI), con la cual se constituyó el Sistema Ítalo-Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias (SIASGE).

En la actualidad, la CONAE se encuentra desarrollando un programa denominado Arquitectura Segmentada, una nueva generación de satélites e instrumentos, mediante el uso de un conjunto de segmentos pequeños, que operan de forma coordinada. También se encuentra trabajando en el satélite SABIA-Mar y otros a mediano plazo, como el nuevo SAOCOM (CONAE, 2023a).

Existen otros desarrollos por fuera del ámbito estatal. Actualmente, la empresa Satellogic cuenta con 26 satélites en el espacio, la flota o constelación más grande de satélites de observación de la Tierra en alta resolución a nivel global (*La Nación*, 2022). Esto le permite a la empresa obtener imágenes del planeta alrededor de siete u ocho veces por día. Tiene la capacidad de remapear toda la Tierra en un período de varios meses (*La Nación*, 2022). La empresa se encuentra verticalmente integrada, incluye el diseño, la fabricación, la operación de los satélites y el procesamiento de imágenes para ofrecer el servicio final, lo que le permite reducir costos y ganar competitividad (Pascuini y López, 2022).

Otra empresa es Space Sur, que se dedica a una parte del segmento comercial de los servicios satelitales, brinda análisis de imágenes a partir de procesamientos de *softwares*, o bien tareas de consultoría en la parte técnica, pero no se dedica al desarrollo de satélites. Existen otras empresas que se dedican al desarrollo en particular de procesos, *software*, plataformas e infraestructuras de los satélites, como es el

17 Tuvo como objetivo proveer información sobre la superficie de la tierra a través de instrumentos ópticos para estudiar los ecosistemas terrestres y marinos.

18 Los instrumentos a bordos destacados fueron cámara de infrarroja de nueva tecnología; cámara de alta sensibilidad, sistema de colección de datos y demostración tecnológica (CONAE, 2021, p. 64).

19 Poseen una carga útil, un Radar de Apertura Sintética (SAR) en banda L único en el mundo con el objetivo de generar información útil para prevenir, monitorear, mitigar y evaluar catástrofes (CONAE, 2021).

caso de INVAP, pero también ocurre lo mismo con la comercialización del servicio.²⁰ La empresa VENG es el brazo comercial de la CONAE y es la que comercializa las imágenes de los satélites. A fines de 2020 la compañía comenzó a generar alianzas con empresas internacionales con el fin de colocar los productos del SAOCOM en nuevos mercados.

Esto contextualiza que el Estado argentino, a través de la CONAE y VENG, principalmente, y otros actores de relevancia, como INVAP, la CNEA y las universidades públicas, son el bastión principal para el sostenimiento de la política espacial, permitiendo generar así un ecosistema en Argentina.²¹ A su vez, Satellogic es el principal actor privado que se encuentra en toda la cadena de valor del segmento de observación terrestre.

Definición del ecosistema de análisis

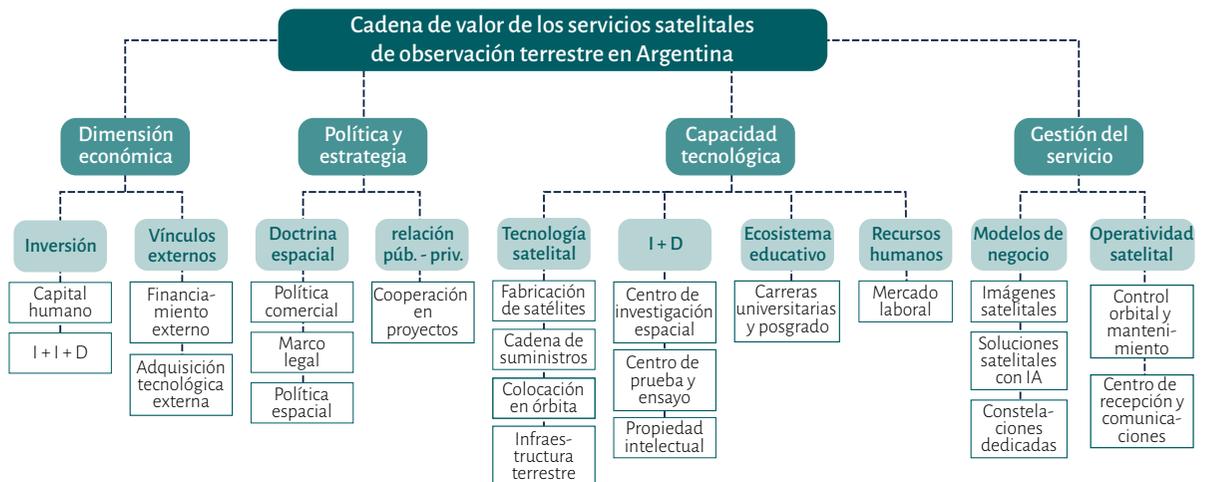
Una vez descriptas las tendencias globales y el diagnóstico de la cadena de valor de los servicios satelitales de observación, resulta relevante desarrollar el árbol de pertinencia y/o ecosistema de análisis que se encuentra integrado por el sistema, los subsistemas, los componentes y las variables. El sistema inicia con la cadena de valor de los servicios satelitales de observación terrestre de Argentina, constituida por cuatro subsistemas. El primero es la dimensión económica, que posee dos componentes referidos a la inversión y vínculos externos con otros actores de los cuales se desagregan las siguientes variables: capital humano; inversión, innovación y desarrollo; financiamiento externo, y adquisición de tecnología externa. El segundo subsistema es la política y estrategia. Presenta dos componentes: doctrina espacial y relación público-privado. Ambas se encuentran integradas por las siguientes variables: política comercial, marco legal, política espacial y cooperación en proyectos. De la misma manera, el tercer subsistema es la capacidad tecnológica. Este es uno de los subsistemas más amplios, con cuatro componentes: el primero, tecnología satelital, integrada por las variables fabricación de satélites, cadena de suministros, colocación de satélites en órbita e infraestructura terrestre; el segundo, investigación y desarrollo, aglutinado por las variables centros de investigación espacial, centros de prueba y ensayos, y propiedad intelectual; el tercero, ecosistema educativo, constituido por las carreras universitarias y de posgrado, y el cuarto, recursos humanos, compuesto por el mercado laboral. El último subsistema

²⁰ Los satélites de observación terrestre a partir de un proceso técnico obtienen determinados datos e imágenes mediante un procesamiento técnico, dependiendo la carga útil que posea.

²¹ Principalmente si hacemos referencia al segmento de observación terrestre, ya que el Estado argentino cuenta con otros segmentos de especialidad en la cadena de valor espacial como la tecnología en telecomunicaciones a través de la empresa ARSAT; diseños de lanzadores espaciales a través de VENG; instrumentos de alta tecnología, entre otros desarrollos que no se encuentran delineados para este trabajo.

es la gestión del servicio, que está subdividido en dos componentes: los modelos de negocio, integrados por las variables venta de imágenes satelitales, soluciones satelitales con inteligencia artificial (IA) y constelaciones dedicadas; y la operatividad satelital, compuesta por las variables control orbital y mantenimiento, centro de recepción, y comunicaciones.

Figura 1. Ecosistema de análisis



Fuente: elaboración propia a partir de las tendencias globales y diagnóstico.

Análisis prospectivo

En este apartado, en una primera instancia, se determinan las variables clave. Luego se visualiza el muestreo de la valoración que realizaron los expertos, donde, a partir de un análisis de cuantificación de impactos, identificaron las hipótesis externas de mayor importancia para el ecosistema. Para finalizar, se realiza el análisis morfológico y la construcción y narración de escenarios futuros.

Determinación de variables clave

Luego de detallar las tendencias, el diagnóstico de la situación actual y la conformación del ecosistema de la cadena de valor de los servicios satelitales de observación terrestre de Argentina, con el fin de desarrollar escenarios futuros, es relevante determinar cuáles de todas las variables mencionadas poseen mayor incertidumbre para focalizar el estudio. Por tal motivo, a continuación se realiza un análisis en el que, a partir de lo caracterizado, se le asigna a cada variable el grado de incertidumbre que posee en el ecosistema con una proyección hacia el 2040 en un marco de 3 a 0 (3, alto; 2, medio; 1, bajo; 0, nulo).

Figura 2. Cuadro de valorización del grado de incertidumbre de las variables

Número	Variables del ecosistema	Grado de incertidumbre
1	Capital humano	2
2	I+I+D	3
3	Financiamiento externo	1
4	Adquisición de tecnología externa	2
5	Política comercial	3
6	Marco legal	3
7	Política espacial	3
8	Cooperación en proyectos	2
9	Fabricación de satélites	3
10	Cadena de suministros	3
11	Colocación de satélites en órbita	2
12	Infraestructura terrestre	1
13	Centros de investigación espacial	1
14	Centros de prueba y ensayos	1
15	Propiedad intelectual	2
16	Carreras universitarias y posgrado	3
17	Mercado laboral	3
18	Venta de imágenes satelitales	3
19	Soluciones satelitales con IA	3
20	Constelaciones dedicadas	3
21	Control orbital y mantenimiento	1
22	Centro de recepción y comunicaciones	1

Fuente: elaboración propia a partir de las tendencias globales y diagnóstico.

En tal caso fueron seleccionadas 11 de las 22 variables antes descritas:²² I+I+D, Política comercial, Marco legal, Política espacial, Fabricación de satélites, Cadena de suministros, Carreras universitarias y de posgrado, Mercado laboral, Venta de imágenes satelitales, Soluciones satelitales con IA y Constelaciones dedicadas. Solo se consideraron las variables con mayor grado de incertidumbre. Concluida esta sección, se evaluaron las tendencias globales para establecer hipótesis, con el fin de visualizar posibles impactos externos a la cadena de valor.

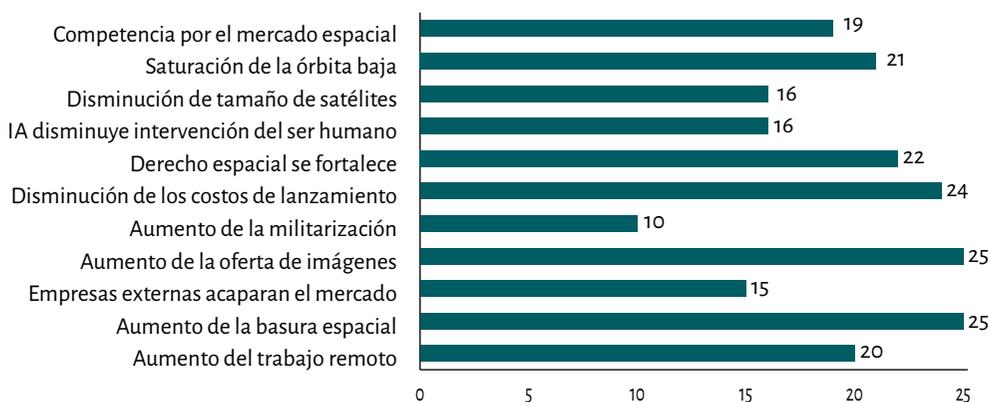
²² Cada una de ellas contextualiza un punto de relevancia en cada subsistema del árbol, siendo factores de interés para la tracción de cada uno de estos. Al respecto, la visión analítica asignada es relativa en cuanto al individuo y/o conjunto de individuos que lo realice. Para ello fueron contempladas la caracterización de las tendencias, diagnóstico y consultas informales a profesionales en la temática espacial. También pueden existir otras configuraciones a partir de asignarle un valor alto a otra variable, como podría ser ejemplo la incorporación al listado de la “financiación externa”.

Valorización de expertos sobre hechos portadores de futuros o hipótesis

A partir de lo plasmado en capítulos anteriores, se determinaron 11 hechos portadores de futuro que acentúan características tendenciales del entorno a nuestro ecosistema de estudio. Luego se eligieron profesionales de la temática o expertos (E) que valorizaron cada hecho con el fin de identificar cuáles hipótesis tendrían un mayor impacto en la cadena de valor en el caso de que se presentara o extrapolara ese escenario.

A continuación se detallan los resultados, que fueron sistematizados en un gráfico en el que se observa el puntaje otorgado por los profesionales consultados.

Figura 3. Gráfico que describe la medición realizada por los expertos



Fuente: elaboración propia.

De los resultados de la valoración se eligieron solo los cuatro hechos portadores de futuro con mayor grado de impacto de acuerdo con su puntuación final. Para su evaluación se constituyó un cuadro de doble entrada que permitió visualizar su respuesta.

Dentro de este marco, los expertos también aproximaron el año en el cual podrían configurarse estos hechos²³ entre los años 2025, 2030 y 2040. En lo que refiere a la hipótesis del derecho espacial, el promedio indicó que podría llegar a darse en el transcurso hacia el 2030. Sobre la disminución de los costos de lanzamiento, la gran mayoría optó por el 2025. Lo mismo ocurrió con las otras dos hipótesis.

²³ Si bien algunos actualmente están en desarrollo, se hizo énfasis en la maximización de esta tendencia.

Figura 4. Resultados de las cuatro hipótesis más valorizadas por los expertos

Hipótesis	Valorización de expertos (E) 3 – alta; 2 – media; 1 – baja; 0 – nulo									Promedio total	Final
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9		
A medida que el derecho espacial internacional se fortalezca, se solicitará mayores grados de permisos a empresas con el fin de ordenar la distribución de espacios por la cantidad de actores involucrados.	3	1	1	3	3	3	3	2	3	2,4	22
Disminuirán los costos de lanzamiento de satélites en órbita baja de forma exponencial por la cantidad de oferta y accesibilidad tecnológica.	3	3	3	3	2	3	1	3	3	2,6	24
Aumentará la oferta de imágenes satelitales a partir del crecimiento exponencial de la cantidad de empresas en el mercado y actores con la capacidad de obtenerlas.	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2,7	25
Aumentará considerablemente la basura espacial en órbita baja.	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2,7	25

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, estos hechos portadores de futuro tendrían su impacto a corto y mediano plazo. Este plano reviste interés en la sección sobre caja morfológica, ya que, al configurarse las hipótesis descriptas, luego se analiza el comportamiento de las variables en esos escenarios.

Caja morfológica

A partir de la determinación de las variables clave y la identificación de las hipótesis de mayores impactos corroboradas por los expertos en la evaluación anterior, se desarrolló una caja morfológica para analizar cómo se comportaría cada una de las variables en dicha situación (contemplando sus respectivos indicadores de medición):

Figura 5. Análisis de caja morfológica. Comportamiento de variables clave

N°	CAJA MORFOLÓGICA					
	Variables clave	Medición sobre la base de indicadores	Hipótesis			
			H1: Fortalecimiento del Derecho Espacial Internacional ²⁴	H2: Disminución exponencial de los costos de lanzamiento ²⁵	H3: Aumento de la oferta de imágenes satelitales ²⁶	H4: Aumento considerable de la basura espacial
1	I+I+D	Alta/Media/Baja distribución de los ingresos sobre I+I+D	La distribución podría verse afectada por la limitación de los espacios	Aumento de los ingresos en innovación y desarrollo	Aumento de los ingresos en innovación y desarrollo con el fin de competir por un mejor producto	La distribución podría verse afectada por la limitación de los espacios
2	Política comercial	Mayor/Media/Menor cantidad de políticas comerciales de desarrollo y crecimiento	Se mantienen estables	Las políticas comerciales se modifican a raíz de la alta accesibilidad al espacio	Mayor cantidad focalizada en innovación comercial para generar nichos	Se replantea la cantidad de proyectos comerciales focalizando en nichos de mercado
3	Marco legal	Mayor/Media/Menor cantidad de normas y principios	Incremento de normas locales para <i>aggiornarlas</i> con la internacional	Debido a la alta accesibilidad se desarrollan nuevas normativas	Las normas se mantienen estables	Aumentan los principios buscando concientizar éticamente a los actores
4	Política espacial	Alta/Media/Baja cantidad de políticas	Se mantienen estables a medida que obtienen los permisos	La alta accesibilidad motiva a generar nuevos proyectos	Se planifican nuevos proyectos vinculados a nueva tendencia de competencia	La tendencia se mantiene sobre la base de la planificación, pero existe incertidumbre
5	Fabricación de satélites	Alta/Media/Baja cantidad de desarrollos de satélites	Se mantiene estable la cantidad de desarrollos	Aumenta la fabricación de satélites	La tendencia se mantiene estable	Se mantiene y se buscan alternativas para limitar el impacto de la basura espacial
6	Cadena de suministros	Mayor/Media/Menor presencia de empresas nacionales proveedoras	Aumenta la presencia de empresas proveedoras	Aumentan las empresas argentinas vinculadas a la cadena de suministros	La tendencia se mantiene estable	Aumentan las empresas vinculadas a la cadena de suministros
7	Carreras universitarias y de posgrado	Alta/Media/Baja cantidad de oferta y demanda académica	Alta oferta y demanda académica	La alta accesibilidad empuja a las universidades a incrementar la oferta	Aumentan considerablemente los posgrados vinculados a cargas útiles	Aumenta la oferta de la sostenibilidad ambiental en el espacio

N°	CAJA MORFOLÓGICA					
	Variables clave	Medición sobre la base de indicadores	Hipótesis			
			H1: Fortalecimiento del Derecho Espacial Internacional ²⁴	H2: Disminución exponencial de los costos de lanzamiento ²⁵	H3: Aumento de la oferta de imágenes satelitales ²⁶	H4: Aumento considerable de la basura espacial
8	Mercado laboral	Alta/Media/Baja cantidad de personal capacitado	Se mantiene una tendencia de cantidad de personal capacitado	Aumenta el personal capacitado, pero con peligro de insertarse en el exterior	Aumenta el personal calificado para gestionar productos	Aumenta luego de que comienzan a aparecer nuevos segmentos de especialización para lidiar con estos desechos
9	Venta de imágenes satelitales	Alta/Media/Baja cantidad de productos obtenidos	Aumenta la cantidad de productos	Aumenta la cantidad de productos por la alta accesibilidad	La tendencia aumenta, pero se busca la calidad y la innovación	Se mantiene; se puede ver afectada por la cantidad de basura espacial y el posible impacto
10	Soluciones satelitales con IA	Alta/Media/Baja cantidad de nuevas soluciones satelitales con IA	Aumenta la aplicación de nuevas soluciones con IA	Las tendencias de crecimiento se mantienen y se aplican nuevas soluciones con IA	Aumentan los proyectos vinculados a la IA	Aumentan buscando que sean parte de la solución de la localización inteligente del satélite
11	Constelaciones dedicadas	Alta/Media/Baja cantidad de proyectos sobre constelaciones dedicadas	Aumenta la cantidad de proyectos sobre constelaciones dedicadas a países que no puedan obtener una ratificación jurídica	Se mantienen estables los proyectos vinculados a este tipo de estrategia comercial	Aumentan los proyectos vinculados a este tipo de estrategia comercial, aunque existen limitaciones por la alta demanda competitiva	Disminuyen las constelaciones

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados sobre variables clave y respuestas de expertos.

El análisis del cruzamiento de las variables clave con las hipótesis arrojó posibles bifurcaciones causales. A su vez, las cuatro hipótesis fueron los hechos disparadores

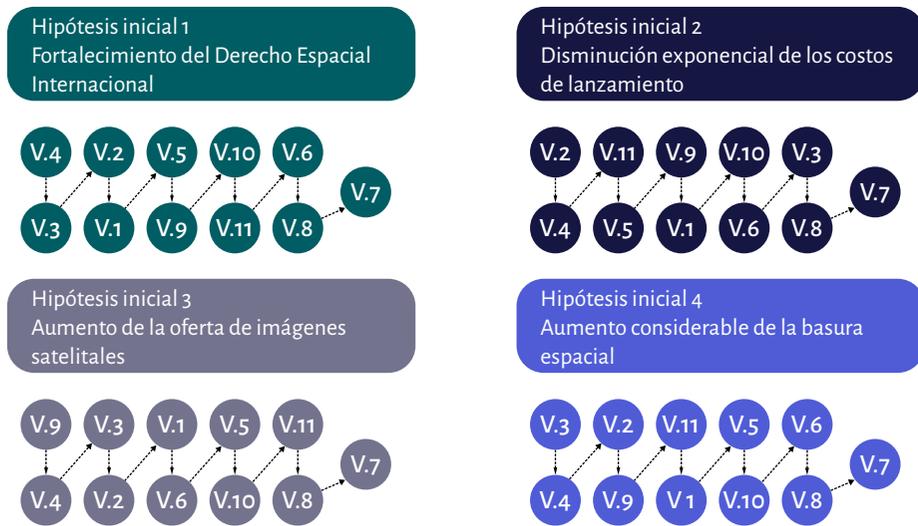
24 Se solicitará mayores grados de permisos a empresas con el fin de ordenar la distribución de espacios por la cantidad de actores involucrados

25 En órbita baja de forma exponencial por la cantidad de oferta y la accesibilidad tecnológica.

26 A partir del crecimiento exponencial de la cantidad de empresas en el mercado y actores con la capacidad de obtenerlas.

para el diseño de los escenarios futuros, en donde cada una de las variables se comporta y posiciona de diferente manera en la cadena de valor.

Figura 6. Posible comportamiento causal de las variables para el desarrollo de escenarios



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados sobre la caja morfológica.

Las bifurcaciones se desarrollaron a partir de relacionar los comportamientos de las variables arrojadas en la caja morfológica. De esta manera, se generan hechos en cadena que constituyen de forma causal el diseño estructural de los escenarios para que luego sean narrados.

Narración de posibles futuros escenarios

Considerando los resultados de los posibles comportamientos causales se narraron cuatro escenarios: “Regulación en la cadena de valor”, “La era del *low cost* espacial”, “Competitividad satelital” y “Sustentabilidad espacial cero”. Esto permitió representar las posibles evoluciones de las variables antes analizadas. A continuación, se establecen las narraciones de esos escenarios posibles.

Escenario 1. Regulación en la cadena de valor

La cadena de valor argentina hacia el 2040 se ha posicionado como uno de los principales exponentes sobre el derecho espacial, producto de los procesos históricos, el aumento de las oportunidades académicas y profesionales. Durante el 2023 el derecho espacial internacional ha comenzado a fortalecerse. Los primeros resultados

han sido reflejados en el transcurso del 2025 ya que fueron solicitados mayores grados de permisos a empresas con el fin de ordenar la distribución de espacios por la cantidad de actores involucrados en la órbita baja. Esto produjo que los proyectos de política espacial en Argentina se mantengan estables según los lineamientos de planificación, luego de que primero sean aprobados permisos brindados por organismos internacionales para que los satélites puedan ocupar un espacio en dicha órbita.

Los cambios en la política tuvieron un impacto en las normativas nacionales. Para *aggiornar* dicho procedimiento internacional, la CONAE ha comenzado a trabajar con entidades nacionales y empresas privadas; estos encuentros fueron de utilidad para delinear las solicitudes elevadas. Los cambios en las directivas, si bien han mantenido estables los lineamientos en cuanto al desarrollo comercial, se han visto afectados parcialmente debido a la congestión de la órbita baja y la cantidad de permisos otorgados a cada país.

Hacia el 2030, los proyectos de desarrollo satelital de observación terrestre se han mantenido estables, pero existieron ciertas limitaciones por la solicitud de los permisos antes mencionados. Estas limitaciones no han impactado en el servicio de los satélites que se encuentran en funcionamiento, pero sí a los nuevos proyectos envueltos en la tendencia de innovación tecnológica. Es por ello que, a mediados del 2035, se ha buscado incrementar exponencialmente el desarrollo de nuevas tecnologías de IA que permitieron obtener mejores resultados en la obtención de imágenes.

A partir de ello, ha aumentado la cantidad de proyectos vinculados a brindar servicios excluyentes mediante constelaciones dedicadas, especialmente en empresas privadas que han focalizado el mercado en países que, por no cumplir los estándares de calidad, no han podido obtener una ratificación jurídica para ocupar un lugar en la órbita.

Este contexto favoreció a que la oferta y demanda de imágenes satelitales se haya incrementado a nivel global, a pesar de la solicitud de permisos. Esto hizo que hacia el 2040 se haya constituido una alta tasa de personal capacitado, particularmente en el ámbito del derecho espacial y la gestión de datos satelitales. Paralelamente, este hecho tuvo su impacto en el sector académico, donde creció la oferta de oportunidades de estudios de grado y posgrado.

Escenario 2. La era del *low cost* espacial

Hacia el 2040 la cadena de valor de servicios de Argentina se encuentra limitada por la alta tasa de accesibilidad al espacio, ya que sin un control jurídico considerable una gran cantidad de actores se insertaron en la dinámica comercial por la colocación en órbita de sus propios satélites.

A partir de que entre 2023-2025 se haya producido una disminución exponencial de los costos de lanzamiento de satélites en órbita baja por la cantidad, la flexibilidad y la diversidad en la oferta, la aparición de nuevas tecnologías de lanzamiento y la accesibilidad tecnológica, las políticas comerciales han comenzado a modificarse buscando focalizar en nichos de mercado. Este incentivo ha implicado que se inicien nuevos proyectos en los que muchos países comenzaron a involucrarse en la cadena de valor de los servicios de satélites de observación.

Como dicha cadena es amplia, ciertos países o empresas mantuvieron sus intereses en adquirir los servicios de constelaciones dedicadas, o bien iniciaron proyectos de desarrollo satelital tras vincularse con empresas extranjeras. Esto produjo un impacto en el ecosistema argentino, que hacia el 2030 muestra un crecimiento de la cantidad de empresas locales de tipo *start-ups* referidas a la obtención de imágenes satelitales.

Estas empresas, particularmente del sector privado, buscaron focalizar nichos de mercado aumentado los ingresos en innovación y desarrollo, como fueron la optimización en sensores multiespectrales de alta calidad con el fin de obtener una mejor obtención. Dichos aumentos se han relacionado con la aplicación de estudios sobre IA. Debido a esos mayores gastos y a la disminución en los costos y nuevas tecnologías de lanzamiento comenzaron a acrecentarse las empresas de cadena de suministros a nivel nacional.

Hacia el 2035, a medida que aumentaron las empresas en la cadena de valor a partir de proyectos de incubadora tecnológica, paralelamente a ello, comenzaron a desarrollarse nuevas normativas que permitieron gestionar de una manera ordenada su crecimiento.

A pesar de las dificultades económicas del país, el crecimiento de la cadena de valor también tuvo su impacto en el mercado laboral, donde aumentó la cantidad de profesionales vinculados a los servicios. Pero, como ocurre en Argentina, en el exterior se da la misma tendencia con desafíos profesionales más atractivos y el personal busca asentarse en otras empresas.

Para limitar dicho accionar, las universidades han comenzado a brindar una mayor oferta académica y a aumentar la vinculación con empresas nacionales, lo que permitió, hacia el 2040, utilizarlas como basamento para robustecer la cadena de valor.

Escenario 3. Competitividad satelital

Hacia el 2040, la cadena de valor de Argentina se encuentra en un marco de competitividad por empresas y Estados que brindan un mismo servicio. Esto se da en un contexto en el que no existe un marco regulatorio internacional exhaustivo y los costos de lanzamiento se mantienen accesibles.

En el transcurso del 2023 hacia el 2025 comienza a asentarse un aumento de los productos satelitales en el mercado a partir del crecimiento exponencial de la cantidad de empresas, impactando así en la disminución de su costo unitario y en

la diversidad de actores que logran obtener los servicios. Debido a esto, en Argentina ocurrió la misma tendencia donde empresas locales han buscado acrecentar la calidad e innovación en toda la cadena de valor con el fin de ofrecer un servicio que sea diferencial ante la alta competitividad.

La presencia de actores nacionales ya instalados en el mercado favoreció que, a partir de la elección de cierta tecnología, como la tecnología por radar, y de la utilización de determinadas bandas se hayan segmentado dichos nichos. Esto planteó que en la planificación de los proyectos se haya considerado dicha estadía de competencia por el mercado y el cumplimiento de nuevas normativas locales que fueron establecidas para aglutinar el funcionamiento de la cadena de valor para los proyectos que han deseado implementar.

Hacia el 2030, en su gran mayoría, estos proyectos han sido constituidos a partir de la creación de estrategias comerciales para generar nichos de servicio mediante la inversión en investigación, innovación y desarrollo. Para la puesta en funcionamiento de esta lógica de mercado, con vistas al 2035, la presencia de actores vinculados a la cadena de suministros se torna relevante para las pruebas de herramientas de obtención de datos satelitales y el proceso de construcción de nuevos satélites.

Los actores que se han encontrado en toda la cadena de valor incurrieron en el desarrollo de satélites focalizando en la variedad de herramientas en la carga útil o bien en la fabricación de satélites más pequeños que funcionen como una constelación. Para su puesta en funcionamiento se fueron aumentando considerablemente los proyectos vinculados a la IA con el fin de optimizar el procesamiento de datos, mejorar la calidad de píxeles en herramientas de obtención y dar mayor fluidez en las comunicaciones entre satélites y bases terrestres.

Pero también hacia el 2040 se asientan otras dinámicas comerciales, como las constelaciones dedicadas, cuya operatividad de servicio ha estado limitada por la alta competitividad, siendo las empresas más importantes las que monopolizan y mantienen este tipo de segmento. Este aumento considerable de los proyectos hizo eco en el crecimiento del personal calificado para gestionar productos satelitales, tanto en la obtención, sistematización y venta al exterior como en el descubrimiento de nuevos nichos de mercado. Esto derivó en un aumento de los cursos de posgrado vinculados a las tecnologías de la información geográfica, en el desarrollo técnico para mejorar la optimización de herramientas de obtención y en el desarrollo de nuevos prototipos de carga útiles de satélites.

Escenario 4. Sustentabilidad espacial cero

Hacia el 2040 la cadena de valor de Argentina se ve impactada de forma negativa por la alta tasa de basura espacial en la órbita baja y también por períodos de alto crecimiento en la colocación de satélites sin control o cuidado.

A partir de que desde el 2025 se haya aumentado considerablemente la basura espacial y con la aparición de colisiones entre satélites, se han comenzado a desarrollar, a nivel internacional, normativas de carácter vinculante que permitan coordinar de una manera ordenada la colocación en órbita y la gestión de dicha basura. En este contexto, el marco legal en Argentina se ha acrecentado buscando delinear normativas y concientizar éticamente a los actores de la cadena de valor. Si bien el desarrollo de nuevos proyectos se ha mantenido según la planificación y el contexto de los actores, existió incertidumbre sobre cómo podrían evolucionar las nuevas normativas de la sustentabilidad espacial en órbita baja.

Hacia el 2025, en lo que respecta a la política comercial se iniciaron proyectos con el fin de focalizar en nichos de mercado tratando de maximizar los esfuerzos a pesar de la compleja situación del espacio. En este marco, se mantuvo la tendencia de venta de productos satelitales de actores argentinos en el mercado internacional, a pesar de las altas tasas de colisión con objetos y de la limitación de visibilidad terrestre que perjudicó la obtención de datos de forma fehaciente.

Hacia el 2030, la situación compleja hizo disminuir los servicios de constelaciones buscando acentuar los esfuerzos de obtención en imágenes de mayor calidad que permitan visualizar el espacio terrestre sin importar la cantidad de objetos en órbita o mejorar las comunicaciones. Estos esfuerzos se han acentuado en innovación y desarrollo y solo los realizaron empresas argentinas que ya se encuentran asentadas en el ecosistema comercial puesto que la aversión al riesgo para empresas que recién comenzaban fue con altas tasas de incertidumbre.

Para los actores que se encontraban en toda la cadena de valor el desarrollo satelital se mantuvo y comenzaron a buscar alternativas para limitar los impactos de la basura espacial. Esto se da a partir de que hacia el 2035 se comienzan a profundizar la implementación de diseños más pequeños y con menos durabilidad. También con la aplicación de la tecnología de IA permitió identificar objetos y movilizar al satélite automáticamente de forma tal que sufran los menores riesgos posibles.

En tal aspecto, la basura espacial también ha generado que las empresas vinculadas a la cadena de suministros comiencen a tener un mayor rol, especialmente porque en Argentina existen empresas que tienen capacidad de desarrollo industrial y técnico, lo que aumenta su presencia en la cadena de valor.

Esto ha generado un aumento en nuevos segmentos de especialización para lidiar con los desechos, considerando que hacia el 2040 hubo un incremento sostenido en oferta académica en sostenibilidad espacial, derecho espacial y desarrollo de tecnologías para evitar colisiones.

Conclusiones

El estudio realizado permitió visualizar posibles escenarios sobre la cadena de valor de los servicios satelitales de observación terrestre de Argentina hacia el 2040. Para ello se contemplaron la caracterización de tendencias globales y el diagnóstico. A partir de la definición del ecosistema, la determinación de variables clave, la valoración de hipótesis por parte de expertos, la aplicación de caja morfológica y el diseño de posibles escenarios, se constituyeron futuribles que exploran cómo podría comportarse la cadena de valor en los próximos años.

Dichos escenarios fueron planteados a partir de cuatro hipótesis relacionadas con el entorno exterior del ecosistema de análisis, teniendo un impacto diferencial en cada uno de los actores de la cadena de valor. En este marco, los cuatro escenarios elaborados fueron “Regulación en la cadena de valor”, “La era del *low cost* espacial”, “Competitividad satelital” y “Sustentabilidad espacial cero”.

En lo que respecta al primer escenario, la regulación impacta relativamente en la cadena de valor de servicios de Argentina puesto que ya se encuentra insertada en el mercado. Situación diferente tienen las empresas que recién comienzan y, salvo que inicien un proceso de innovación tecnológica o se asocien con otras empresas que sí se encuentran en dicha dinámica, Argentina podría sacar ventaja al respecto. También los aportes históricos sobre derecho espacial que posee el país podrían ser utilizados como una ventaja competitiva.

En cuanto al segundo escenario, la incertidumbre se centra particularmente en el amplio abanico de participaciones de actores en el segmento espacial, donde la cadena de valor argentina, ya insertada en el mercado, también lograría mantenerse con una ventaja competitiva. Ahora bien, esto dependería de las inversiones en investigación, innovación y desarrollo. La preocupación en este escenario se da en personal calificado que comienzan a localizarse en empresas en el extranjero por la alta accesibilidad y la cantidad de empresas nuevas. Para ello, el rol de las universidades y entidades como CONAE es interesante para el incentivo de quedarse a trabajar en el país.

En cuanto al tercer escenario, la saturación de imágenes genera un marco de competitividad empresarial. Así, el eje se encuentra en los actores del ecosistema buscando optimizar procesos de datos, mejoramiento de la calidad de píxeles en herramientas de obtención y mayor fluidez en las comunicaciones entre satélites y bases terrenales. También en la aplicación de nuevas estrategias comerciales, como constelaciones dedicadas o similares que puedan aparecer con el fin de diferenciarse del resto. Para ello, Argentina cuenta con una ventaja competitiva debido a que ya se encuentra inserta en el mercado, tanto a nivel público como privado.

Por último, el cuarto escenario constituye uno de los que mayor impacto produce en la cadena de valor, no solo en la Argentina sino también en el plano internacional. La sustentabilidad espacial es uno de los desafíos que el sector posee a

mediano plazo, particularmente por los impactos en la disminución de proyectos, cambios drásticos en la política comercial y desarrollos de nuevas tecnologías como sensores que identifiquen objetos o herramientas que optimicen las telecomunicaciones. No obstante, también se pueden abrir nuevos nichos comerciales donde las empresas, fundamentalmente las vinculadas a la cadena de suministros, pueden acoplarse a las nuevas necesidades. Lo mismo ocurre con las empresas que ya se encuentran en el rubro del diseño espacial, especialmente en referencia a sensores de objetos, mejores sistemas de comunicación o de obtención de imágenes de calidad del ecosistema terrestre a pesar de la basura espacial o de la poca visibilidad.

En términos generales, los resultados obtenidos determinan que la iniciativa de la política espacial y comercial es de vital importancia para todos los escenarios trabajados, puesto que, a partir de la inversión en I+I+D, sería el puntapié inicial para el comienzo del ciclo constitutivo de la cadena de valor.

Las investigaciones y la innovación en tecnologías, como IA, robotización, *big data* y otras relacionadas, serían cruciales para el diseño de nuevos proyectos de desarrollo satelital y/o instrumentos que se derivan de ello con el objetivo de obtener mejores productos en cuanto a la calidad, cantidad y tipo de imágenes satelitales. También resalta la relevancia de la oferta por parte de las universidades y los posibles vínculos con empresas para afianzar el mercado laboral a partir de convenios o proyectos en común, con el fin de generar un sentido de pertenencia pese a las diversidades económicas nacionales o la diferencia de ingresos con actores en el extranjero.

Por lo tanto, los resultados de este trabajo podrían ser de utilidad para contemplar las cuatro hipótesis planteadas a sabiendas de que para cada una de ellas se exige un comportamiento particular por parte de quienes toman las decisiones. Ante ello, cabe destacar que dichas hipótesis pueden darse de forma transversal o variada. Por lo tanto, los impactos, las limitaciones y las oportunidades pueden constituirse de forma complementaria y con mayor grado de complejidad que los presentados en este trabajo.

Bibliografía

- AEB (2022). Definição de Requisitos e da Missão. *Workshop* Pequenos Satélites Educacionais. Brasília: Agencia Espacial Brasileña (Curso posgrado Introducción a Nanosatélites).
- AATE (2023). Satélites Argentinos en Órbita. Recuperado el 20/08/2023 de <https://aate.org/satarg.htm>.
- BAVA, J. A y SAENZ, A. J. (2007). *Microondas y Recepción Satelital*. La Plata: CEILP.
- BEINSTEIN, J. (2013). *Prospectiva tecnológica*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (Cuaderno Tecnológico, 4).

- BEINSTEIN, J. (2016). *Manual de prospectiva: guía para el diseño e implementación de estudios prospectivos*. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- CHIOCCHETTI, S. y GALVÃO, B. (2019). *Compatibilidad electromagnética. Aspectos teóricos y prácticos en las áreas espacial e industrial*. Buenos Aires: UNSAM Edita.
- CONAE (2021). *Mirar la tierra desde el espacio: 30 años de la Agencia Espacial Argentina*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina.
- CONAE (2023a). Arquitectura segmentada. Recuperado el 24/11/2023 de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/misiones-espaciales/arquitectura-segmentada>.
- CONAE (2023b). La CONAE liberó el código de su Software 2Mp. Recuperado el 24/11/2023 de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/la-conae-libero-el-codigo-de-su-software-2mp>.
- Cuál es la empresa argentina que está dando que hablar dentro del mercado global de imágenes satelitales. *Forbes* (2 de marzo de 2023). Recuperado el 24/11/2023 de <https://www.forbesargentina.com/innovacion/cual-empresa-argentina-esta-dando-hablar-dentro-mercado-global-imagenes-satelitales-n30292>.
- DE LEÓN, P. (2018). *Historia de la actividad espacial en Argentina*. Buenos Aires: Lenguaje Claro.
- ESA (2020). Space debris by the numbers. Recuperado el 24/11/2023 de https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers.
- ESA EDUSPACE (2023). Elementos de teledetección. Recuperado el 25/11/2023 de [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM\]Co7SXIG_o.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM]Co7SXIG_o.html).
- GARCÍA, R. (2008). *Sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- GARCIA-SOTO, C. (2009). *Oceanografía y satélites*. Madrid: Editorial Tébar.
- GODET, M. (2000). *La caja de herramientas de la Prospectiva Estratégica*. París: Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique & Prospektiker-Instituto Europeo de Prospectiva y Estrategia (Cuadernos, 5).
- GODET, M. (2007). *Prospectiva Estratégica: problemáticas y métodos*. París: CNAM/Prospektiker.
- HINES, A. y BISHOP, P. (2013). Framework foresight: Exploring futures the Houston way. *Futures*, 51, 31-49.
- LA NACIÓN (2022). Economía del Espacio: Argentina, ¿el nuevo futuro que va a desperdiciar? Entrevista a Emiliano Kargieman. La Nación+. <https://www.youtube.com/watch?v=7MPfIR76-p4>.
- LATTENERO, M. (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.
- LÓPEZ, A.; PASCUINI, P. y ALVAREZ, V. (2021). *Integración local y derrames tecnológicos en el sector espacial argentino: situación y potencialidades*. Buenos Aires: Centro de Estudios para la Producción (Documento de trabajo, 8).

- LÓPEZ, A.; PASCUINI, P. y RAMOS, A. (2017). *Al infinito y más allá. Una exploración sobre la economía espacial en Argentina*. Buenos Aires: Instituto Interdisciplinario de Economía Política, Universidad de Buenos Aires.
- LÓPEZ, A.; PASCUINI, P. y RAMOS, A. (2019). Economía del espacio y desarrollo: el caso argentino. *Revista CTS*, 40(14), 111-133.
- MAZKIARAN RAMIREZ, M. (2011). Interferencia en satélites geoestacionarios [Tesis de grado]. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- MCTI (2023). Subsecretaría de Estudios y Prospectiva. Recuperado el 25/11/2023 de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/subsecretaria-de-estudios-y-prospectiva>.
- MEDINA VÁZQUEZ, J. (2006a). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: ILPES/CEPAL.
- MEDINA VÁZQUEZ, J. (2006b). Conversando acerca del método de los escenarios, Avances de Estrategia y Prospectiva. *Prospectiva Tecnológica*, 2.
- MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (2023). Plan Nacional Espacial. Observación de la Tierra. Recuperado el 25/11/2023 de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/plan-espacial/observacion-de-la-tierra>.
- MOJICA, F. (2010). *Introducción a la Prospectiva Estratégica para la competitividad empresarial*. Bogotá: Centro de Pensamiento Estratégico y Prospectiva. Universidad Externado de Colombia.
- NEGRO, S. C. (1997). *Cooperación espacial comunitaria. Régimen jurídico, exploración y explotación del espacio*. Buenos Aires: Ediciones Ciudad Argentina.
- PASCUINI, P. y LÓPEZ, A. (2022). *Tendencias en la economía del espacio y potencial argentino*. Buenos Aires: IIEP, CONICET.
- PÉREZ IBAÑEZ, J. (2019). Cadenas globales de valor: una revisión bibliográfica. *Semestre Económico*, 22(51), 63-81.
- PIZARRO, F. (2023). *Impacto de la basura espacial en la industria espacial comercial*. Santiago de Chile: Athenalab.
- SABATO, J. (2014). *Estado, política y gestión de la tecnología. Obras escogidas (1962-1983)*. Buenos Aires: UNSAM Edita.
- SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION (2021). *State of the Satellite Industry Report*. Recuperado el 25/11/2023 de https://brycetechnology.com/reports/report-documents/SIA_SSIR_2021.pdf.
- VIANO, L. (5 de septiembre de 2021). A 25 años del Víctor, Córdoba quiere lanzar un nuevo satélite. *Diario La Voz* (Córdoba, Argentina). Recuperado el 25/11/2023 de <https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/a-25-anos-del-victor-cordoba-quiere-lanzar-un-nuevo-satelite/>.