

Integración local y derrames tecnológicos en el sector espacial argentino

Situación y potencialidades

Andrés López, Paulo Pascuini y Valentín Alvarez

Documento de Trabajo N° 8

Mayo 2021

Cita sugerida: López, A.; Pascuini, P.; y Alvarez, V. Integración local y derrames tecnológicos en el sector espacial argentino: situación y potencialidades. Documentos de Trabajo del CCE N° 8, mayo de 2021, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

Integración local y derrames tecnológicos en el sector espacial argentino: situación y potencialidades

Mayo 2021

Andrés López¹, Paulo Pascuini¹ y Valentín Álvarez¹

ISSN 2718-8124

Corrección y diagramación: Natalia Rodríguez Simón y Juliana Adamow

Consejo para el Cambio Estructural

Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación

Julio A. Roca 651, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

info@produccion.gob.ar

Los resultados, interpretaciones y conclusiones de esta obra son exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con la visión institucional del Ministerio de Desarrollo Productivo o de sus autoridades. El Ministerio de Desarrollo Productivo no garantiza la precisión de los datos incluidos en esta obra.

La serie de Documentos para el Cambio Estructural se hace circular con el propósito de estimular el debate académico y recibir comentarios.

Los autores agradecen la colaboración prestada por el personal entrevistado de ARSAT, la CONAE, INVAP, y la UNLP. Como es usual, cualquier error u omisión en el texto es responsabilidad de los autores.

¹ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas/CONICET. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP-BAIRES).

Autoridades

Presidente de la Nación

Dr. Alberto Fernández

Vicepresidenta de la Nación

Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Jefe de Gabinete de Ministros

Lic. Santiago Cafiero

Ministro de Desarrollo Productivo

Dr. Matías Kulfas

Director del Centro de Estudios para la Producción XXI (CEP-XXI)

Dr. Daniel Schteingart

Índice

1. Introducción	5
2. Enfoque analítico y metodología	8
2.1. Justificación de los proyectos, dimensiones de análisis y fuentes de información	8
2.2. Caracterización de los actores de la cadena de valor de la economía del espacio	9
2.3. Conceptualización de una misión satelital.....	10
3. Evolución del sector en Argentina	11
4. Cadena de valor del sector satelital y las funciones, objetivos y misiones de ARSAT y CONAE	16
4.1. La cadena de valor satelital.....	16
4.2. CONAE y las características técnicas y objetivos del SAOCOM 1B	19
4.3. ARSAT y las características técnicas y objetivos del ARSAT-2.....	20
4.4 Próximas misiones satelitales de la CONAE y ARSAT	22
5. Encadenamientos aguas arriba	25
6. Los programas de desarrollo de proveedores y transferencia de tecnología en la industria espacial	31
6.1. Experiencia local.....	31
6.2. Experiencias internacionales.....	34
7. Conclusiones y recomendaciones de política.....	36
Anexo 1. Personas entrevistadas para este trabajo	41
Anexo 2. Actores del ecosistema espacial argentino	42
Anexo 3. Caracterización de una misión satelital por subsistemas.....	45
Referencias bibliográficas	50

1. Introducción

La industria espacial es un sector de alta tecnología dominado por las grandes potencias económicas globales, pero en el que algunos países en desarrollo han realizado inversiones para generar capacidades tecnológicas y productivas a nivel local (Dennerley, 2016). Entre las motivaciones que han tenido para realizar estas inversiones se encuentran algunas de corto plazo –por ejemplo, satisfacer necesidades locales de servicios satelitales y desarrollar el conocimiento necesario para consumirlos–, y otras de largo plazo –como mejorar la infraestructura y crear capacidades industriales y de innovación (Wood & Weigel, 2011)–. Recientemente, la emergencia de nuevas tecnologías ha facilitado el acceso al espacio por parte de países con una menor tradición en el sector. Un ejemplo son los satélites pequeños de órbita baja, cuya construcción es uno de los primeros pasos para el desarrollo tecnológico en el sector espacial (Wekerle *et al.*, 2017).

Al momento de dimensionar el sector es necesario recurrir a una definición que delimite qué actividades forman parte de él. Existen muchas definiciones basadas en conceptos tales como industria espacial (Bromberg, 1999), sector aeroespacial (Weiss y Ami, 2014) o sector espacial (OECD, 2012). Una visión más amplia es la que se basa en la noción de “economía del espacio” (OECD, 2012, pág. 20), que abarca todas las actividades en torno a la exploración, comprensión, gestión y uso del espacio. Esto incluye la investigación y desarrollo, las operaciones espaciales tripuladas, el equipamiento terreno, la fabricación de satélites, los lanzamientos satelitales, la infraestructura y los servicios satelitales, entre otros.

Según la Satellite Industry Association (SIA, 2020) en su reporte anual para 2019, la economía del espacio generó a nivel mundial USD 366.000 millones, de los cuales el 74% (USD 271.000 millones) provinieron de la industria satelital y el 26% restante correspondió a los presupuestos gubernamentales en actividades espaciales y a las operaciones comerciales tripuladas. Los ingresos generados por la industria satelital incluyen, en primer lugar, un 48% vinculado a equipamiento terreno, el cual comprende los equipos de televisión satelital, GPS y los centros de operación, entre otros. En segundo lugar, el 45% de los ingresos de este segmento deviene de la prestación de servicios satelitales,

¹ donde se destacan como componentes principales los servicios de televisión, radio y banda ancha. En tercer lugar, la fabricación de satélites representa el 5% de los ingresos de la industria satelital; de dichos ingresos, Estados Unidos aporta el 63%. Por último, el 2% restante de los ingresos de la industria satelital proviene de los lanzamientos satelitales.

Los estados nacionales fueron los principales impulsores de la actividad desde sus inicios, y actualmente la inversión pública continúa representando la mayor parte de las inversiones en actividades espaciales, alcanzando aproximadamente USD 79.000 millones en 2019 (OECD, 2020). Sin embargo, un análisis de más de 6.000 lanzamientos de satélites desde 1960 a 2008 encontró que la proporción de lanzamientos explicada por la demanda gubernamental había venido cayendo con el tiempo, partiendo desde un 90% en la década del 60, para pasar a un 73,5% en los 70 y cayendo por debajo del 55% en la última década del período (Hiriart y Saleh, 2010). En efecto, en las últimas décadas ha aumentado significativamente la demanda de tecnología espacial para usos comerciales y no gubernamentales, en detrimento de los usos militares (Barbaroux, 2016).

La participación del sector privado continuó creciendo en el período más reciente, cuando se destacan varios proyectos privados que están lanzando grandes constelaciones de satélites de órbita baja. A diciembre de 2019 se encontraban 2.218 satélites en órbita, 1.007 de los cuales eran operados por Estados Unidos, 323 por China, 164 por Rusia y 724 por el resto del mundo. De todos los satélites en órbita en 2019, dos tercios se ubicaban en órbita baja, segmento en el cual en los anteriores 4 años se habían hecho más de 1.000 lanzamientos. A principios de 2020 la empresa SpaceX tenía 200 satélites

¹ Los ingresos por servicios satelitales se distribuyeron en 2019 según SIA de la siguiente manera: USD 92.000 millones en televisión, USD 17,7 millones en servicios fijos, USD 6,2 millones en radio, USD 2,8 millones en banda ancha, USD 2 millones en móviles, y finalmente USD 2,3 millones en imágenes.

LEO de la flota Starlink en órbita, lo cual la convierte en la principal operadora comercial de satélites, y ha solicitado permiso para lanzar más de 42.000, de los cuales 12.000 ya han sido aprobados (Undseth *et al.*, 2020). La constelación Starlink de esta empresa se enfrentará a la competencia de OneWeb y Amazon, que planean lanzar más de 650 y 3.000 satélites respectivamente.²

Al igual que ocurrió con las grandes potencias del sector, en el caso de la Argentina el desarrollo de la industria espacial también ha sido impulsado fundamentalmente por el Estado. Un aspecto interesante del caso argentino es que las iniciativas del sector público que dieron origen a las capacidades que confluyeron en la conformación de una agencia espacial nacional y en la concreción de proyectos satelitales civiles comenzaron varias décadas atrás, no solo en el campo militar (algo común en el caso de las potencias espaciales), sino también en la industria nuclear. En esta última, otro sector de alta tecnología en el que Argentina es uno de los pocos países en desarrollo que ha logrado destacarse a nivel internacional, se habían acumulado capacidades en lo que podríamos llamar “tecnologías de sistemas complejos”. Esto le permitió a INVAP, uno de los actores clave del sector nuclear, ser el contratista principal de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y ARSAT en varios proyectos satelitales. Bajo la dirección de la CONAE y de ARSAT, Argentina ha logrado poner ocho satélites en órbita. Seis de estos estuvieron bajo la esfera del plan espacial de la CONAE, siendo de carácter científico o de observación de la Tierra, mientras que los otros dos conforman la flota de satélites geoestacionarios de telecomunicaciones de ARSAT, el operador satelital de bandera.³ Adicionalmente, la Argentina ha venido desarrollando proyectos en el área de lanzadores, con el objetivo de ingresar al pequeño club de naciones (apenas 11)⁴ que tienen capacidad para fabricar vehículos que permitan poner en órbita satélites.

El primer lanzamiento de un satélite con fines científicos (SAC-B) ocurrió en 1996 y estuvo a cargo de la CONAE con INVAP como principal contratista. A este proyecto le siguieron otras tres misiones ya concluidas de la serie SAC: SAC-A, C y D, todas ellas en cooperación con la NASA. Los objetivos científicos de estas misiones incluyeron, por ejemplo, el estudio avanzado de física solar y la medición de la salinidad de los océanos. Por un lado, la colaboración de la CONAE con la NASA y con agencias de diversos países permitió la incorporación de conocimiento, insumos e instrumentos a las misiones operadas por aquella. Por el otro, con el correr del tiempo, las nuevas misiones espaciales de Argentina fueron aumentando la participación de desarrollos y componentes locales. En la actualidad, la CONAE tiene dos misiones activas: en 2018 lanzó el SAOCOM 1A y en 2020 el SAOCOM 1B, que llevan las antenas de radar más grandes puestas en un satélite en órbita con fines civiles. Ambos proyectos tuvieron también a INVAP como contratista principal. Los objetivos de estas misiones son prevenir, monitorear, mitigar y evaluar catástrofes naturales o antrópicas, medir la humedad del suelo y aportar información en episodios de emergencias, como la detección de derrames de hidrocarburos en el mar o el seguimiento de la cobertura de agua durante inundaciones, permitiendo también tener impactos productivos mediante, por ejemplo, aplicaciones en la agricultura y el control de plagas.

En el sector de las telecomunicaciones, la empresa ARSAT gestionó, con INVAP como principal contratista, las misiones de los satélites geoestacionarios de telecomunicaciones ARSAT-1 y 2, que se

² La proliferación de satélites de telecomunicaciones en órbita baja es una tendencia reciente, dado que éstos tradicionalmente solo se ubicaban en órbita geoestacionaria (Xu y Zhang, 2018; Orvola *et al.* 2020). Si bien esta posibilidad abre nuevas oportunidades, también puede traer nuevos problemas como el aumento en la posibilidad de colisiones (Pardini y Anselmo, 2020) y el incremento de la “basura espacial” (Undseth *et al.*, 2020). Esta última consiste en materiales que se encuentran en el espacio como resultado de la actividad espacial, como desprendimientos de un satélite averiado, por ejemplo, cuya colisión con un satélite podría dejarlo inutilizable, incluso tratándose de desperdicios muy pequeños. La cantidad de objetos en órbitas geocéntricas (esto es, girando en torno a la Tierra), que en 1990 se ubicaba en torno a los 5.000 objetos, en enero de 2020 ha sobrepasado los 25.000. La masa total de estos objetos y el área que ocupan también han tenido un crecimiento similar, multiplicándose por un factor mayor a 4 en el mismo período (ESA, 2020).

³ Para más detalle sobre los principales actores y la organización institucional del sector en Argentina ver López *et al.* (2017), sobre el rol de la política pública en la evolución del sector ver López *et al.* (2019) y sobre la acumulación de capacidades tecnológicas ver López *et al.* (2018).

⁴ China, Corea del Norte, Corea del Sur, Estados Unidos, Francia, India, Irán, Israel, Japón, Reino Unido y Rusia.

encuentran actualmente en órbita. Esto situó a Argentina dentro del reducido grupo de ocho actores⁵ con capacidades suficientes para construir localmente satélites geoestacionarios de telecomunicaciones. A diferencia de los SAOCOM, a cargo de la CONAE y lanzados en 2018 y 2020 (los cuales tienen una fuerte integración local en sus partes), y de los SAC, en cuya serie se fue sumando participación local, en los ARSAT-1 y 2 hay una gran presencia de componentes importados. Entre estos se encuentra la carga útil completa –los instrumentos y equipos que el satélite necesita para cumplir con su misión– y los paneles solares –que aportan la energía necesaria para que el satélite funcione–. La decisión de integrar componentes extranjeros en lugar de desarrollarlos localmente se explica por el hecho de que los riesgos comerciales asociados con los satélites de telecomunicaciones imponen una serie de limitaciones (vinculadas a aseguramiento, cumplimiento de plazos y especificaciones, etc.) a la participación de proveedores sin experiencia probada en el sector. De ahí que la plataforma de los ARSAT-1 y 2 se desarrolló bajo la premisa de minimizar riesgos y cumplir plazos, a costa de una menor integración del valor agregado local (López *et al.*, 2018).

Replicando lo que sucedió con la industria nuclear, al posibilitar el desarrollo del sector satelital, la continuidad en la acumulación de capacidades en la industria espacial puede ser la base para nuevos “saltos” hacia otras actividades similares desde el punto de vista de su complejidad técnica.⁶ La propia actividad desarrolla encadenamientos con proveedores, socios y clientes, generando derrames tecnológicos y productivos que benefician a la competitividad de otros sectores. En la Argentina, los actores pertenecientes a la economía del espacio pueden segmentarse en tres categorías:

1. Un conjunto reducido de actores centrales.
2. Un grupo de empresas de base tecnológica e instituciones del sistema de ciencia y tecnología que operan aguas arriba de los actores centrales.
3. Un grupo variado de empresas que operan aguas abajo de los actores centrales, agregando valor en la cadena.

Son los actores centrales quienes se caracterizan por su capacidad tecnológica y de innovación, y su posibilidad de generar eslabonamientos con otros actores del ecosistema. Mientras que estos actores y sus actividades han sido analizados en trabajos de investigación previos,⁷ no existe un mapeo –más allá del relevamiento realizado por Drewes (2014), que se limitó a las empresas que participaron de un seminario organizado por ARSAT en 2014– que identifique y caracterice:

- a. La participación de los proveedores locales de base tecnológica y de las instituciones de ciencia y tecnología.
- b. Las potencialidades y obstáculos para aumentar esta participación local.
- c. La vinculación de estos proveedores e instituciones con otros sectores productivos.
- d. Las iniciativas de política que podrían ayudar a concretar las oportunidades de elevar la provisión doméstica de bienes y servicios (en particular de aquellos en donde las vinculaciones de las organizaciones proveedoras con otras industrias usuarias favorecerían la posibilidad de generación de derrames de conocimiento y productividad).

Este trabajo pretende contribuir a reducir esas brechas de información, esencialmente con dos objetivos: i) identificar las oportunidades y obstáculos existentes para potenciar los encadenamientos aguas arriba y los derrames hacia otros sectores; y ii) proponer algunos lineamientos iniciales de política tendientes a aprovechar las oportunidades y mitigar los obstáculos identificados.

⁵ Argentina, China, Estados Unidos, India, Israel, Japón, Rusia, y la Unión Europea. Se espera que este grupo de actores se amplíe próximamente, en la medida que otros países avanzan en la curva de aprendizaje tecnológico. Por ejemplo, se proyecta que Turquía lance en 2022 su satélite GEO Türksat-6A construido localmente.

⁶ Ya existe un ejemplo de estos saltos, dado que INVAP comenzó la fabricación de radares para control de tránsito aéreo y meteorológicos en buena medida gracias a desarrollos previos en el área satelital. Más aún, a partir de estas capacidades existen planes en la actualidad para que la empresa se involucre en el sector aeronáutico.

⁷ Ver López *et al.* (2017) para un detalle sobre el origen y actividades de los actores centrales de la cadena de valor de la economía del espacio en Argentina.

El documento se estructura de la siguiente manera. En la segunda sección se presenta el enfoque analítico del trabajo, a partir de una conceptualización de la cadena de valor del sector y de las misiones satelitales, y se especifican las fuentes de información utilizadas. En la tercera sección se realiza un recorrido cronológico por los principales hitos tecnológicos e institucionales que dieron lugar a la acumulación de capacidades en el sector espacial argentino. En la cuarta sección se presenta la cadena de valor del sector satelital local, se ubica a la CONAE y a ARSAT en el ecosistema espacial de la Argentina, por ser las dos instituciones bajo control del Estado que comandan misiones satelitales en el país, y se especifican los objetivos y características técnicas principales de las misiones de los últimos satélites lanzados por dichas instituciones; adicionalmente, se describen las misiones que actualmente están en diversas etapas de desarrollo en ambos casos. En la quinta sección se identifican componentes con potencialidad para ser integrados localmente en futuras misiones, así como los impactos, limitaciones y dificultades de estos desarrollos. En la sexta sección se presentan iniciativas locales e internacionales orientadas al desarrollo de proveedores y la transferencia de tecnología en el sector. Al final, se presentan las conclusiones y las correspondientes recomendaciones de política (sección séptima). En el anexo 1 se incluye la lista de entrevistas realizadas y en el anexo 2 se presentan los actores del ecosistema espacial identificados a partir de este trabajo y de otros previos. Finalmente, en el anexo 3 se caracteriza una misión satelital según subsistemas, exponiendo aspectos técnicos de utilidad para la comprensión de las funciones de cada componente identificado en la quinta sección.

2. Enfoque analítico y metodología

2.1. Justificación de los proyectos, dimensiones de análisis y fuentes de información

A los fines de alcanzar los objetivos mencionados, el presente trabajo se basa principalmente en información sobre las misiones SAOCOM 1B y ARSAT-2. Las razones para la selección de estos proyectos han sido:

- CONAE y ARSAT son las dos instituciones bajo control estatal que tienen entre sus mandatos comandar misiones satelitales.
- SAOCOM 1B y ARSAT-2 son los dos últimos satélites lanzados por estas instituciones.
- Ambos satélites son segundas ediciones de satélites muy similares:
 - Esto permite trabajar con información sobre costos recurrentes.
 - Existen proyectos para lanzar versiones actualizadas de estos satélites (SAOCOM 2A, ARSAT-SG1) que tendrán diferencias en su estructura, pero mantendrán objetivos similares y recurrencia en parte de su composición, lo cual ayuda a la identificación de potencialidades para incrementar la integración local.

Con el fin de identificar las oportunidades y obstáculos existentes para potenciar los encadenamientos aguas arriba y los derrames hacia otros sectores, partimos de ubicar a las instituciones mencionadas dentro de una versión simplificada de la cadena de valor de la economía del espacio en base a OECD (2012), que se presenta en la subsección 2.2. A partir de entrevistas y solicitud de información a cargos gerenciales de las dos instituciones luego se procede a:

- Desagregar el costo de los proyectos en los diferentes subsistemas del *bus* (ver definición más abajo), el payload (carga útil), y servicios relacionados (por ejemplo. lanzamiento) a partir del esquema de conceptualización de una misión satelital presentado en la Subsección 2.3.
- A partir de entrevistas con distintos responsables de ambas instituciones y empresas locales proveedoras y potenciales proveedoras de componentes para las misiones, en cada uno de estos segmentos se busca identificar:
 - Proveedores clave, y la participación de productos y servicios locales en términos de valor.
 - Las potencialidades para reemplazar la participación de servicios y productos de proveedores del exterior con provisión local, ya sea con los mencionados proveedores clave o con otros a identificarse durante el trabajo de campo.
 - Los obstáculos que limitan la participación local en eslabones de la cadena de provisión, en donde existan capacidades locales suficientemente desarrolladas o con potencial real de desarrollo en el corto-mediano plazo.

2.2. Caracterización de los actores de la cadena de valor de la economía del espacio

Los distintos actores de la cadena de valor de la economía del espacio (OECD, 2012) se pueden agrupar en cuatro eslabones:

Centros de I+D. Son el primer segmento de la cadena de valor de la economía del espacio, y comprenden a universidades y laboratorios que realizan tanto investigación aplicada como ciencia básica, además de eventualmente colaborar directamente en el desarrollo de algunos proyectos. Por ejemplo, un centro de I+D podría desarrollar un componente o instrumento cuya fabricación quedaría a cargo de otros actores de la cadena aguas abajo. Pero también puede ocurrir que no solo diseñen sino asimismo fabriquen esos equipos, en cuyo caso también tomarían parte del segundo eslabón de la cadena. Por cierto, el rol de los centros de I+D excede el diseño de componentes e instrumentos, en tanto también pueden desarrollar proyectos de investigación fundamental o a pedido que permitan generar nuevos conocimientos útiles para el sector espacial, así como prestar diversos tipos de servicios a otros agentes del sector.

Fabricantes. En el segmento de fabricantes se encuentran los actores de base tecnológica encargados de la construcción de segmentos terrenos⁸ y de los satélites y sus lanzadores (mediante los cuales un satélite es puesto en órbita). Se dividen en integradores, que justamente integran los distintos componentes del satélite, el segmento terreno o el lanzador, y los proveedores de insumos y subsistemas. Estos proveedores también participan de la fabricación de segmentos terrenos, satélites y lanzadores, pero se distinguen de los anteriores en que no realizan la integración final ni construyen sistemas completos, sino que se limitan a la producción de equipos, subsistemas y componentes. Típicamente los integradores son firmas de mayor tamaño y capacidades tecnológicas que el resto de los proveedores de base tecnológica, quienes están más atomizados y solo dominan la tecnología requerida para la etapa en la que participan.

Operadores. Siguiendo aguas abajo en la cadena de valor de la economía del espacio, encontramos a los operadores, típicamente propietarios o arrendatarios del satélite, y encargados de la provisión de capacidad satelital (es decir, de señal satelital) y/o servicios de centro de control.

Proveedores de servicios de información. Finalmente, en el segmento siguiente se ubican los proveedores de servicios de información, que agregan valor a la capacidad satelital provista por los

⁸ Centros dedicados a la gestión de los satélites, la recepción y distribución de información satelital y, en general, del contacto entre los satélites y la Tierra.

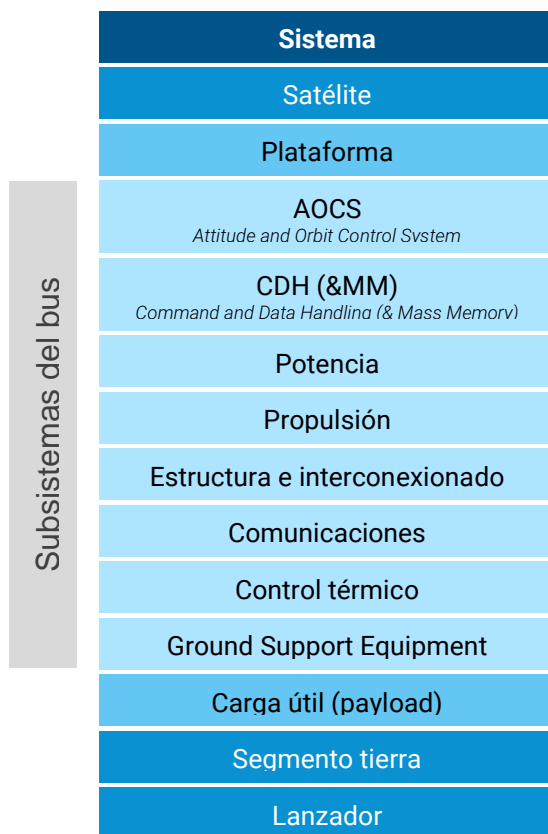
operadores para brindar servicios satelitales mayoristas y minoristas. Para ello cuentan con equipamiento terrestre como *hubs*, antenas, módems VSAT, etc., mediante el cual transforman, por ejemplo, la señal emitida por el satélite en información y viceversa. Entre los servicios satelitales que proveen, resulta de interés distinguir entre los de telecomunicaciones y otros servicios, como los de observación de la Tierra. Dentro de los proveedores de servicios de telecomunicaciones, a su vez, pueden distinguirse dos tipos según si su estrategia de comercialización se enfoca en clientes corporativos o consumidores finales.

2.3. Conceptualización de una misión satelital

El primer componente de cualquier misión satelital es el sistema, el cual, en base a los objetivos definidos para la misión, suministra el diseño de la misma y articula todos sus elementos componentes, desde la definición de la órbita y el tipo de lanzador requerido y los equipos en tierra (segmento terreno), hasta los materiales a utilizar en la plataforma. En la figura 1 se puede observar un esquema que conceptualiza los diversos conjuntos de componentes de una misión satelital.

La infraestructura de un satélite se divide en dos subsistemas principales. Por un lado, se encuentra la carga útil (*payload*), que contiene todo lo que el satélite necesita para cumplir con su misión. Dependiendo de la misión puede consistir en antenas, cámaras, radares, etcétera. Por ejemplo, en un satélite de telecomunicaciones serán esencialmente transpondedores, y en uno de observación usualmente serán sensores remotos.

Figura 1. Esquema general de los componentes de una misión satelital



Fuente: elaboración propia con base en entrevistas con ingenieros de la CONAE, ARSAT e INVAP.

Por otro lado, se encuentra el *bus*, que es la parte del satélite que hospeda al payload y mantiene al equipo unido y en funcionamiento. Esto es posible gracias a distintos componentes, como la propia estructura y el interconexión, y los subsistemas que permiten al satélite cumplir con sus funciones vitales. Algunas funciones de estos subsistemas podrán variar dependiendo del satélite (por ejemplo, si necesita una unidad de memoria, dependiendo de si puede enviar información a la Tierra de manera continua o no), pero otras serán un denominador común, como el sistema de potencia donde se encuentran los paneles solares y las baterías para almacenar la energía. Otro ejemplo de estos subsistemas es el Altitude and Orbit Control System que funciona como la brújula del satélite, y le permite determinar su orientación y ubicación respecto a la Tierra y a otros cuerpos celestes en el espacio; los elementos componentes de este subsistema diferirán según el satélite. De hecho, uno de estos componentes puede ser un dispositivo de geolocalización que, aunque con mucha más complejidad, triangula señales al igual que los dispositivos de GPS que utilizan los automóviles.

Otro componente de cualquier misión satelital es el servicio de lanzamiento utilizado para llevar al satélite al espacio. Por último, se encuentra el segmento terreno, compuesto por el personal y los equipos necesarios en la Tierra para comunicarse y controlar al satélite y complementar la información del mismo para la misión. En el anexo 3 del presente trabajo se da una explicación sobre cada uno de los elementos de la columna principal de la figura 1; allí se pueden consultar, para cada uno de los subsistemas, las funciones principales asociadas y los principales componentes.

3. Evolución del sector en Argentina

La acumulación de capacidades en el sector espacial argentino resulta de la confluencia de aquellas desarrolladas en el sector nuclear y en la Fuerza Aérea Argentina mediante las actividades de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE). Esta confluencia permitió la fabricación de satélites de producción local, teniendo como agentes principales a la empresa pública INVAP y a la CONAE. A continuación, se realiza un recorrido histórico por los principales hitos tecnológicos e institucionales que acompañaron a la acumulación de capacidades y permitieron llegar a la situación actual. Claro está que el resumen de 70 años de evolución dejará de lado varios aspectos de los hitos que se mencionen y muchos otros hitos relevantes; no obstante, los aquí incluidos son los que a criterio de los autores permiten ilustrar adecuada y brevemente el recorrido tecnológico e institucional detrás del desarrollo de la industria espacial argentina.⁹

En 1950 se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), con el objetivo de darle un marco administrativo al proyecto Huemul,¹⁰ la cual en el año 1954, mediante el decreto N° 12.205/54, pasó a depender de manera directa del Poder Ejecutivo Nacional. Si bien el proyecto Huemul fue cancelado por su inviabilidad, la CNEA utilizó sus instalaciones y constituyó, en 1955, un centro de formación en física nuclear y aplicada, el cual posteriormente tomaría el nombre de Instituto Balseiro y ganaría reconocimiento internacional. En años posteriores, la CNEA realizó importantes avances en el sector nuclear argentino. En 1958 creó el Centro Atómico Constituyentes, año en el cual también logró la venta de *know how* para la fabricación de elementos combustibles para reactores a una empresa alemana. En 1962 Argentina y Estados Unidos firmaron un acuerdo de cooperación en materia de uso civil de la energía atómica. Luego se continuaron desarrollando las capacidades en el área nuclear, con la

⁹ La información del sector nuclear surge de Hurtado de Mendoza (2009; 2012), y de las páginas oficiales de INVAP y la CNEA; la de los proyectos de coherencia y misiles de Viscardi (2010) y Blinder (2011; 2015); y la del sector espacial de De León (2018) y de las páginas oficiales de la CONAE y de ARSAT.

¹⁰ Para mayores detalles sobre la historia del proyecto Huemul puede consultarse Mariscotti (1985).

construcción del Centro Atómico Ezeiza y del Reactor RA-3 en el año 1967, y ya para el año 1969 se logró llevar adelante el proceso de separación química del plutonio.

En 1972, egresados del Instituto Balseiro dieron inicio al Programa de Investigación Aplicada, el cual fue liderado por el Dr. Conrado Varotto y administrado por la CNEA. Los encargados de llevar adelante este programa firmaron en 1976 un convenio con la provincia de Río Negro y la CNEA en donde se conformó la empresa estatal INVAP, cuyo directorio en la actualidad cuenta con representantes de ambas instituciones. Desde sus inicios INVAP alcanzó logros significativos en materia nuclear, dentro de los que se destacan el suministro de componentes críticos para el reactor RP-0 de Perú y la apertura de una Planta de Esponja de Circonio en 1978. En 1982 se construyó el reactor RA-6 de investigación y docencia en Bariloche. En 1983, INVAP participó junto a la CNEA de la Planta de Enriquecimiento de Uranio Pilcaniyeu, la cual fue un hito relevante a nivel mundial, ya que eran pocos los países que dominaban esa tecnología.

Ya en 1985, INVAP logra exportar el primer reactor de investigación y producción de radioisótopos llave en mano a Argelia (reactor NUR). En el mismo año se lanzó el proyecto CAREM, el cual consistía en el diseño y construcción de un reactor de potencia. El desarrollo de estas capacidades permitió posteriormente que INVAP no solo acumule nuevos logros en el área nuclear, sino que también incursione en nuevas áreas de alta tecnología, incluyendo sistemas médicos, proyectos industriales complejos y, el tema de interés para este trabajo, en el sector espacial, llevando adelante proyectos satelitales.

Por otro lado, en 1960 mediante el decreto N° 1.164/1960 se crea la CNIE, dependiente de la Fuerza Aérea Argentina. Junto con el Instituto de Investigaciones Aeronáuticas y Espaciales, de la misma fuerza, construyeron los primeros cohetes de fabricación local, posicionando a la Argentina como el primer país en Latinoamérica en lograr este hito. El primer paso en este sentido se dio con los cohetes de una etapa Alfa Centauro y Beta Centauro en 1962, que tenían como objetivo realizar estudios atmosféricos y lograron alcanzar una altura de 20 km. En el mismo año, y como consecuencia del éxito de la experiencia con los Centauro, se pone en funcionamiento el Centro de Experimentación y Lanzamientos de Projectiles Autopropulsados (CELPA), en la provincia de La Rioja, con el fin de proveer las instalaciones para el desarrollo de las actividades de la CNIE.

En los años siguientes se realizaron diversos lanzamientos, incluidos algunos con seres vivos. En 1971 se da inicio al proyecto Cóndor, un proyecto misilístico con fines militares. En 1979 se lanza el "Plan de Satelización", para el cual se contaba con el apoyo de la empresa alemana Conser. Este plan constaba de tres etapas y tenía como finalidad colocar una carga útil de 200 kg en órbitas bajas. Para llevar adelante los desarrollos de dicho plan se construyó la planta de Falda del Carmen, la cual se inauguró en 1983. Luego de la Guerra de Malvinas, la atención se centró en el plan Cóndor y en la transferencia tecnológica con diferentes naciones, como, por ejemplo, la firma del decreto "secreto" N° 604, en el cual se establecía un sistema de intercambio de tecnología misilística con Egipto.¹¹

En 1991 el proyecto Cóndor fue finalmente cancelado por presiones internacionales. En 1989 se firmó un acuerdo de cooperación tecnológica entre Estados Unidos y la Argentina, que es seguido por una gestión bilateral entre la NASA y la Secretaría de Ciencia y Tecnología de Argentina para llevar adelante la serie de satélites SAC. En 1991 se constituye, mediante el decreto N° 995/1991, la CONAE, en reemplazo de la CNIE, heredando las instalaciones aeroespaciales de la Fuerza Aérea Argentina ubicadas en la Ciudad de Buenos Aires y Falda del Carmen (Córdoba), el CELPA y parte del personal civil vinculado al proyecto Cóndor.

La CONAE, con INVAP como principal contratista, llevó a cabo la construcción de la serie SAC. El primero de los satélites de la serie fue el SAC-B, un mini satélite (191 kg) científico que se lanzó en el año 1996 con el objetivo de realizar estudios avanzados de la física solar y astrofísica. Este satélite funcionó

¹¹ Argentina envió a Egipto 44 motores de combustible sólido y permitió la formación de técnicos egipcios en la planta de Falda del Carmen.

durante 12 horas ya que presentó un desperfecto eléctrico. En segundo lugar, en 1998 se lanzó el SAC-A, misión que finalizó exitosamente un año más tarde. Se trató de un satélite de 68 kg que tenía por objetivo probar los componentes de fabricación local para el desarrollo posterior del SAC-C. En ese mismo año se crea la empresa Vehículo Espacial de Nueva Generación, VENG S.A, controlada por CONAE, que se dedicaría a la fabricación de medios de lanzamiento y tomaría un rol más importante en el sector una década después.

En el año 2000 se lanzó el tercer satélite de la serie, el SAC-C. Se trató de un mini satélite de 485 kg con una carga útil conformada por cámaras de teleobservación de la CONAE e instrumentos científicos de Estados Unidos, Italia, Francia y Dinamarca. Este satélite tenía como objetivos la observación de la Tierra y la realización de estudios del campo geomagnético y de la estructura atmosférica. Finalmente, el SAC-D/Aquarius fue el último satélite de esta serie, lanzado en 2010 con un peso de 1.600 kg. Tenía como objetivo obtener información climática mediante mediciones de salinidad de los océanos, detección de alta temperatura en la superficie terrestre para formular mapas de posibles focos de incendios y mediciones de humedad para pronosticar posibles inundaciones. A lo largo de estas cuatro misiones no solo fue creciendo la complejidad de los satélites, sino que fue aumentando la participación local de los mismos.

Existen distintas dimensiones a través de las cuales se puede evaluar la complejidad tecnológica de las misiones satelitales. Por ejemplo, Wood y Weigel (2012) proponen el concepto de “escalera tecnológica espacial”, a partir del cual asocian la complejidad técnica de las misiones satelitales a la órbita en la cual se ubican los satélites y al nivel de autonomía nacional con el que fueron construidos los mismos.¹² En el cuadro 1 se presentan algunos indicadores de participación local y complejidad en las misiones de la CONAE y ARSAT, donde se puede observar que las misiones geoestacionarias aparecieron en el cronograma de lanzamientos 18 años después del lanzamiento del SAC-B. En general las misiones GEO presuponen mayores desafíos tecnológicos por varios motivos, incluyendo la exposición a radiación, la vida útil que se le exige a los sistemas y el recorrido que deben transitar hasta llegar a sus órbitas definitivas.

Sin embargo, cuando el nivel de autonomía con el cual se construyen los satélites difiere, la órbita puede ser un indicador insuficiente para comparar su complejidad.¹³ En el caso particular de los ARSAT 1 y 2 se importaron muchos componentes clave, incluida la carga útil completa y los paneles solares, que, por ejemplo, en los SAOCOM fueron integrados localmente.¹⁴ Estas decisiones de integración local versus importación están condicionadas entre otras cosas por los riesgos comerciales en las misiones de telecomunicación debido a factores tales como las exigencias de las aseguradoras, las potenciales demoras en la entrega cuando se trata de la primera experiencia del proveedor en producir el componente, y las posibles consecuencias en términos de ocupar efectivamente las posiciones orbitales geoestacionarias asignadas (Pascuini, 2020); pero sobre todo se basan en la necesidad de cumplir con los compromisos comerciales asumidos por el operador satelital con sus clientes para proveerles del servicio en tiempo y forma.

En el cuadro 1 también se presentan el peso, la cantidad de instrumentos y algunos ejemplos de los desarrollados localmente que se incluyeron en las misiones de la CONAE y ARSAT (todo de acuerdo a la información disponible). Debe entenderse que, a mayor peso, mayor es la complejidad asociada a su diseño y fabricación: mayores son los requerimientos de energía y más compleja es la gestión y el procesamiento del tráfico de datos con tierra; a su vez la cantidad de instrumentos que lleva el satélite

¹² Para una aplicación de la escalera tecnológica espacial al caso argentino ver López *et al.* (2018).

¹³ Construir un satélite LEO con un nivel de integración local casi total puede ser más complejo que construir un satélite GEO con un nivel de integración local bajo, aun cuando el primero se encuentra en una órbita muy inferior.

¹⁴ Más allá de que estas diferencias en los niveles de integración fueron ratificadas en las entrevistas con personal de ambas instituciones, y de que hay muchos ejemplos puntuales que así lo sugieren, no se han podido recoger datos que permitan cuantificar suficientemente la diferencia en el nivel de participación local de las distintas misiones.

en general correlaciona positivamente con el peso que este adquiere.¹⁵ Si observamos el peso de los satélites de la CONAE, su evolución es creciente en el tiempo. Lo mismo sucede, según la información recogida, con los instrumentos en la serie SAC, los cuales evidencian una mayor participación local y en particular de muchos organismos de CyT que participaron en sus desarrollos.

Cuadro 1. Algunos indicadores de participación local y complejidad en misiones de CONAE y ARSAT					
Año de lanzamiento	Nombre	Órbita	Instrumentos locales (ejemplos)	Cantidad de instrumentos	Peso (kg)*
1996	SAC-B	LEO	Espectrómetro de rayos X duros.	4	191 (s.)
1998	SAC-A	LEO	Cámara de video.	4	68 (s.)
2000	SAC-C	Heliosincrónica	Cámara multiespectral de resolución media. Cámara pancromática de alta resolución. Sistema de recolección de datos. Cámara de alta sensibilidad.	9	485 (s.)
2011	SAC-D/ Aquarius	Heliosincrónica	Radiómetro de microondas. Cámara de alta sensibilidad. Sistema de colección de datos. Paquete de demostración tecnológica.	8	1.600 (s.)
2014	ARSAT-1	GEO	—	24 (transpond.)	2.973 (h.) / 1.300 (s.)
2015	ARSAT-2	GEO	—	26 (transpond.)	2.900 (h.)
2018	SAOCOM 1A	Heliosincrónica	Radar de Apertura Sintética (SAR).	1	3.000 (s.)
2020	SAOCOM 1B	Heliosincrónica	Radar de Apertura Sintética (SAR).	1	3.000 (s.)

Nota: * (s.) hace referencia al peso en seco –esto es, sin combustible o propelente– y (h.) hace referencia al peso en húmedo –con combustible o propelente–.

Fuente: elaboración propia con base en López *et al.* (2017), páginas web oficiales de la CONAE e INVAP y entrevistas realizadas para este trabajo

El SAC-B llevaba un solo instrumento de la CONAE (un espectrómetro de rayos X duros), mientras que el SAC-A fue concebido como un modelo tecnológico del SAC-C y se usó para probar la infraestructura material y humana de los equipos de telemetría, telecomando y control, lo que sirvió como capacitación y entrenamiento de los centros de control de los satélites. El SAC-C aumentó también la incorporación de instrumentos de la CONAE,¹⁶ y lo mismo sucedió con el SAC-D, que lleva instrumentos¹⁷ y una cámara infrarroja que esta agencia desarrolló junto con la Agencia Espacial Canadiense (CSA). En esta última

¹⁵ Aunque no es el caso de las experiencias argentinas (aún), los satélites pequeños podrían ser particularmente complejos, más allá de sus instrumentos, cuando operan en constelaciones o sistemas de arquitectura segmentada, lo cual constituye una limitación a esta métrica como indicador de complejidad tecnológica.

¹⁶ A saber: cámara multiespectral de resolución media, cámara pancromática de alta resolución, sistema de recolección de datos y cámara de alta sensibilidad.

¹⁷ A saber: radiómetro de microondas, cámara de alta sensibilidad, sistema de colección de datos y paquete de demostración tecnológica.

misión, una experiencia interesante de integración local fue la participación del Departamento de Energía Solar (DES) de la CNEA en la integración de los paneles solares, cuyo valor puede rondar los USD 2,5 a 3 millones, algo que se repitió en los SAOCOM recientemente.

Luego de un período de inactividad extenso, VENG tuvo a cargo la fabricación de los cohetes Tronador I y II. En junio de 2007 se lanzó el cohete sonda Tronador I y en mayo de 2008 le siguió el Tronador II. Estos vehículos contenían una baja cantidad de carga útil y también alcanzaron bajas alturas, pero por medio de estos ensayos se adquirieron conocimientos y capacidades en el vuelo de cohetes de combustible líquido.

El desarrollo satelital argentino continuó en 2010, cuando comenzó a construirse el primer satélite de telecomunicaciones nacional. La misión estuvo a cargo de la empresa ARSAT, creada en 2006 nuevamente con INVAP como principal contratista. El satélite fue lanzado exitosamente en 2014, llevó el nombre de ARSAT-1 y continúa en órbita en la actualidad. En 2015 se lanzó el segundo satélite de telecomunicaciones argentino, ARSAT-2, proyecto a cargo de las mismas instituciones.

En 2014 continuaron los hitos con los lanzamientos de los vectores (vehículos experimentales) Vex1A y Vex1B como demostraciones del proyecto Tronador II. El Tronador II sería un vehículo lanzador de órbita terrestre baja, con capacidad de realizar entre 5 y 10 lanzamientos anuales. Este lanzador, que se esperaba que comenzase a funcionar para finales de 2020, no solo resultaba funcional para las actividades de la CONAE, sino que también permitiría comercializar servicios de lanzamiento (López *et al.* 2017). La continuación de los proyectos de lanzadores, que se había planteado al menos desde 2015, se denominaría Tronador III. Una de las diferencias en cuanto a prestaciones entre ambos cohetes es que el Tronador II tenía la finalidad de realizar lanzamientos de satélites de 250 kg de peso a 600 km de altitud, mientras que el Tronador III podría realizar lanzamientos de satélites de 600 kg a 750 km de altitud por inyección directa, alcanzando los 1.000 km por inyección indirecta, esto es, reencendiendo el motor superior. En julio de 2020 se presentó el Vehículo Lanzador Espacial (VLE), que representa un paso intermedio en el desarrollo del Tronador III. Se trata de un microlanzador con requerimientos tecnológicos inferiores a los de un cohete. Podría cargar satélites livianos, de hasta 80 kg, e impulsarlos hasta 300 km de altitud. Se espera que en tres años pueda realizarse un vuelo del VLE, y que en los dos años siguientes ocurra lo mismo con el Tronador III.¹⁸ Más allá de lo aquí mencionado, no se ha encontrado más información pública actualizada sobre el grado de avance actual de los proyectos Tronador II, III y VLE.

El hito satelital más reciente en el sector espacial argentino fue el desarrollo conjunto entre INVAP y la CONAE de los satélites SAOCOM 1A y 1B. Se trata de dos satélites de observación con microondas (lanzados en 2018 y 2020) que operan con una antena SAR en banda L, algo que solo Japón había alcanzado hasta el momento. En estos últimos satélites también siguió avanzando la contribución local de la CNEA, por ejemplo, a partir de la participación de su Departamento de Tecnología de Materiales Compuestos (DTMC) en el desarrollo y fabricación de una estructura de material compuesto tipo "sándwich" para la Antena Radar de Apertura Sintética (SAR por sus siglas en inglés) de los SAOCOM. Aunque estos satélites contaron con un solo instrumento de desarrollo local, se trató de una antena de mayor complejidad que otros instrumentos domésticos incluidos en misiones previas, lo cual se manifiesta por ejemplo en su peso (aproximadamente 1,5 toneladas). De hecho, el SAOCOM es el satélite tecnológicamente más avanzado entre todos los lanzados en América Latina (López *et al.*, 2018).

¹⁸ Al momento de escribir este trabajo la CONAE no ha publicado ningún documento ni información en su página oficial con estos datos. Lo aquí informado surge de un webinar organizado y transmitido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba el 15 de Julio de 2020 donde personal de la CONAE presentó el VLE.

4. Cadena de valor del sector satelital y las funciones, objetivos y misiones de ARSAT y CONAE

Con el objetivo de ubicar a la CONAE y ARSAT en el ecosistema espacial local, en esta sección se presenta en primer lugar una caracterización de los actores que operan en cada eslabón de la cadena de valor de la economía del espacio, descrita en la sección 2. Se identifican aquellos que ocupan lugares centrales y, aunque no existe (y queda fuera del alcance de este trabajo) un mapeo completo y actualizado de todos los actores que operan aguas arriba y aguas abajo, se dan ejemplos de algunos y se caracterizan sus actividades principales en el sector. A continuación, se presentan los objetivos y características técnicas de los dos proyectos satelitales que son objeto de estudio en este trabajo (SAOCOM 1B y ARSAT-2), previa breve presentación de las instituciones a cargo de estos.

4.1. La cadena de valor satelital

Como se representó en la figura 2, en el ecosistema argentino¹⁹ se encuentran presentes actores de cada uno de los eslabones de la cadena de valor descrita en la sección 2. En el eslabón de Centros de I+D encontramos, en primer lugar, a la CONAE, que además de ser la agencia espacial realiza actividades de I+D. En segundo lugar, se identifican universidades, laboratorios y otros actores como la CNEA, el Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA) de la Universidad Nacional de la Plata o el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) del CONICET, entre otros.

Muchos de los centros de I+D también se encuentran en el siguiente eslabón de la cadena por ser proveedores de componentes y servicios asociados a las misiones satelitales; por ejemplo, el DES de la CNEA desarrolló celdas y paneles solares para su uso en el espacio, los cuales se utilizaron en los satélites SAC-A y SAC-D, y ha provisto los paneles solares para los satélites SAOCOM, actuando en este caso como fabricante. El GEMA, por otra parte, realiza el diseño y la construcción de equipos automatizados para diversos fines, y el análisis de productos específicos con el fin de evaluar que estos cumplan con los estándares de calidad. En esta última función, llevó a cabo un análisis estructural y térmico del instrumento NIRST del SAC-D/Aquarius. El CIOp, por su parte, realiza análisis, diseño y desarrollo de técnicas de caracterización, dispositivos y sistemas ópticos. Entre sus desarrollos se encuentran soldaduras láser para CONAE y VENG S.A.; además, participó en el proyecto SABIA-Mar desarrollando cámaras multiespectrales. Además, provee servicios de asesoramiento intensivos en conocimiento tanto a entes públicos como privados.

El actor principal en el eslabón de fabricantes es INVAP debido a su capacidad para generar proyectos satelitales completos (a excepción del lanzamiento). La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata también planea incursionar en el desarrollo de misiones satelitales propias a partir del anuncio en julio de 2020, en el marco del proyecto Satélite Universitario que sostiene el Centro Tecnológico Aeroespacial de la Facultad, de la apertura de una convocatoria para desarrollar su primer satélite CubeSat²⁰ destinado (potencialmente) a realizar estudios del suelo y el agua, y ayudar en la detección de incendios y cambios meteorológicos. En el segmento de fabricación de satélites también se ha identificado una *startup* argentina, Innova Space, que pretende lanzar una constelación de 100 satélites para proveer servicios de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), y realizaría el primer

¹⁹ Una de las principales carencias de información sobre el sector es la falta de un mapeo completo de los actores del ecosistema espacial y sus capacidades. Aunque elaborar dicho mapeo está fuera del alcance de este trabajo, en el anexo 2 se presenta una recopilación de actores del ecosistema espacial identificados en este y otros trabajos previos (tanto publicados como inéditos) por parte de los autores.

²⁰ 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. Los usos más habituales son para aplicaciones de observación de la Tierra, comunicaciones, geolocalización, monitoreo de señales y estudios científicos.

lanzamiento (el MDQube-SAT1) en 2021, para cuyo desarrollo, [según se ha publicado en los medios](#), ya han conseguido financiamiento.

Dentro del sector privado se destaca la empresa Satellogic, fundada en 2010, que desarrolla satélites, los opera y utiliza la información que recolectan para proveer distintos tipos de servicios. Hasta el momento lleva lanzados 21 satélites, cuenta con más de 200 empleados y tiene sus actividades repartidas en varios países: I+D en la Argentina, integración en Uruguay, desarrollo de software en Israel y España, y desarrollo de negocios en Estados Unidos, donde además hay equipos de venta, al igual que en Colombia, Canadá e Israel.

Satellogic lanzó su primer nanosatélite de 2 kg en abril de 2013 desde China y el segundo de 1,8 kg en noviembre del mismo año desde Rusia; estos llevan en su plataforma paneles solares y computadoras de a bordo argentinas y en su carga útil una cámara para tomar imágenes de la Tierra y un sistema de geolocalización desarrollado por la empresa. El desarrollo de ambos nanosatélites fue financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y concebido, diseñado y producido por Satellogic en colaboración con INVAP (donde de cierto modo se “incubó” Satellogic). El tercero se lanzó desde Rusia en 2014, y en 2016 se comenzaron a lanzar los satélites de la constelación Aleph 1: los primeros siete ÑuSat (1 a 5, 7 y 8) se pusieron en órbita en cuatro servicios provistos por la Administración Espacial Nacional China (CNSA) entre mayo de 2016 y enero de 2020, y el octavo (ÑuSat 6) fue lanzado con la compañía europea Arianespace desde Korou en septiembre de 2020. En noviembre del mismo año se volvieron a lanzar con la CNSA otros 10 satélites de la serie ÑuSat (9 a 18), con una vida útil estimada de tres años y equipados con cámaras multispectrales que tienen 30 metros de resolución y 150 kilómetros de ancho de barrido.

El CEO y fundador de la empresa, Emiliano Kargieman, había declarado en 2019 que una vez expandida la constelación a 20 satélites buscaría llegar a una flota de 90 satélites en dos años. A principios de 2021 [Satellogic anunció un acuerdo de servicios de lanzamientos múltiples](#) con la empresa SpaceX, que convierte a esta última en la principal proveedora para futuros lanzamientos. El esquema que ofrece SpaceX con su Falcon 9 permitirá a Satellogic acortar los plazos entre lanzamientos y mejorar así la calidad de sus servicios. Según el comunicado de prensa en el que se anunció el acuerdo, Satellogic busca contar con una flota de 300 microsátélites en órbita para 2025.

Otro actor importante en el eslabón de fabricantes es la empresa VENG, que opera en segmentos terrenos como desarrolladora de lanzadores, y que actualmente comercializa los servicios provistos por la misión SAOCOM. Se trata de una empresa cuyo capital pertenece casi totalmente a la CONAE y que ha funcionado como la principal contratista de sus proyectos de lanzadores. En el desarrollo de lanzadores también existen algunas *startups* argentinas como TLON, EPIC y LIA, sobre las cuales no se cuenta con demasiada información. La primera de ellas, creada en 2004, planea desarrollar un microlanzador (Aventura I) con carga útil de 25 kg a una altitud de 800 km, proyecto que tomó impulso a raíz de un acuerdo firmado en 2019 con la CONAE para llevar adelante un intercambio de información.²¹ EPIC es una empresa fundada en 2019, que en 2020 realizó varias pruebas de motores, pero de la cual casi no hay información. LIA Aerospace, también fundada en 2019, proyecta completar el desarrollo un lanzador suborbital con carga útil de 30 kg para diciembre de 2022, y un segundo lanzador con carga útil de 150 kg para LEO.

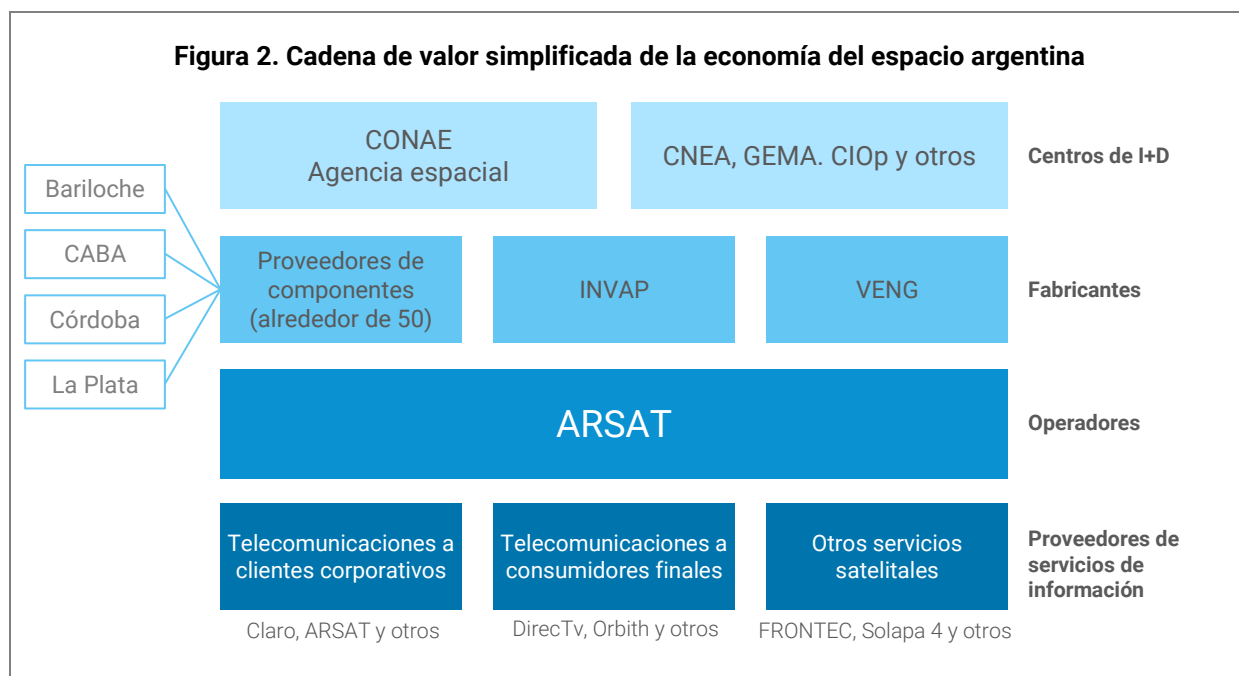
Por el lado de los proveedores de insumos y subsistemas –aunque, como se dijo, no existe un mapeo completo de estos–, se estima que existen alrededor de 50 empresas e instituciones nucleadas en cuatro puntos a lo largo del país: Bariloche, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), Córdoba y La Plata. Por citar algunos ejemplos, en Bariloche se ubican proveedores de INVAP como Mecánica 14; en CABA, la

²¹ Según información proporcionada por la CONAE, se trata de un acuerdo de confidencialidad para que esta agencia pueda eventualmente participar de una revisión técnica de proyectos de TLON e intercambiar información.

empresa Sade; en Córdoba, empresas como ASCENTIO y DTA, ambas socias de la Cámara Argentina Aeronáutica y Espacial (CArAE); y finalmente en La Plata, el ya mencionado GEMA.

Otro actor que podría ubicarse en este eslabón de proveedores, aunque en este caso de servicios, es CEATSA. Es una empresa creada en 2010 e inaugurada en 2013, perteneciente en un 89,5% a INVAP y un 10,5% a ARSAT, cuyas instalaciones se ubican en el predio de INVAP, y son operadas por su personal. El objetivo de esta empresa es brindar servicios de ensayos de alta complejidad a las industrias satelital, aeronáutica, electrónica, automotriz, de defensa, de energía y de bienes de capital en general. La inversión realizada rondó los USD 40 millones y se estimó que se repagaría con el ensayo de 5 satélites. CEATSA está equipada con una cámara de termo vacío (*environmental chamber*), sistemas de ensayo acústico (*reverberant chamber*), de ensayo de vibración (*shaker*), de medición de propiedades de masa y un scanner para medición de antena. Estos ensayos permiten analizar cómo funcionan grandes equipos y estructuras, vehículos, sensores, sistemas de adquisición de datos, entre otros, ante variaciones en su ambiente debidas a modificaciones en variables como la temperatura, la presión, la humedad, el sonido circundante, las vibraciones del medio y los campos de radiofrecuencia.

Aunque existen muchos operadores satelitales con pisada (cobertura) sobre Argentina que proveen capacidad satelital, en la actualidad el único operador de satélites de telecomunicaciones argentino es ARSAT. Tanto las empresas extranjeras de satélites de comunicaciones como ARSAT, que venden capacidad satelital, como otras que ofrecen imágenes satelitales abastecen a los proveedores de servicios de información. Entre estos se encuentran clientes heterogéneos: desde emprendimientos jóvenes como Frontec o Solapa 4, que prestan servicios basados en imágenes satelitales y otras fuentes de datos para el sector agropecuario, hasta grandes empresas como Claro o DirecTV, que abastecen de servicios de telecomunicación satelital a clientes corporativos (área donde también compite ARSAT) y consumidores finales respectivamente.



En todo este mapa de actores de la cadena de valor del sector los únicos dos que comandan misiones satelitales son la CONAE y ARSAT. De hecho, estos están bajo control del Estado y tienen como parte de su mandato el desarrollo de estas actividades. A continuación, se describe brevemente a estas instituciones y las últimas misiones mediante las cuales pusieron satélites en órbita.

4.2. CONAE y las características técnicas y objetivos del SAOCOM 1B

La CONAE se ocupa de diseñar y ejecutar el Plan Nacional Espacial, cuya primera versión entró en vigencia en 1995. Si bien en estos planes se especifican los objetivos clave para los proyectos satelitales, de lanzadores y de segmentos terrenos en el corto, mediano y largo plazo, una carencia es que no abarcan el área de telecomunicaciones (López *et al.*, 2019), cuya relevancia económica global es por el momento mucho mayor que la de otros segmentos (por ejemplo, el de imágenes satelitales).

La CONAE es un organismo descentralizado que desde 2016 responde al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Su directorio está presidido por el titular de dicho ministerio, que también aporta otros representantes, a quienes se suman miembros de la Secretaría de Innovación Pública de la Jefatura de Gabinete de Ministros y de los Ministerios de Economía, Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, Defensa, y Educación. El objetivo de esta agencia es promover y ejecutar actividades en el área espacial con fines civiles, incluyendo la producción, la innovación, la educación y los desarrollos científicos necesarios; también participa directamente en el desarrollo de los satélites para sus proyectos, por ejemplo, realizando la ingeniería de sistemas y la gestión. A octubre de 2020 contaba con 241 empleados y para dicho año disponía de un presupuesto de casi \$3.750 millones, de los cuales más de \$2.222 millones se encontraban asignados a proyectos satelitales y unos \$508 millones a la investigación y desarrollo de medios de acceso al espacio cercano.

La CONAE cuenta con tres centros espaciales y una estación terrena. Entre los primeros se encuentra el Centro Espacial Teófilo Tabanera, ubicado en la provincia de Córdoba. Sus instalaciones son:

- a) La Estación Terrena Córdoba, dedicada a actividades de recepción, procesamiento, publicación y almacenamiento de la información de satélites de observación de la Tierra y a prestar soporte a misiones internacionales.
- b) El Centro de Control de Misión, responsable de la planificación y operación de la plataforma satelital en vuelo.
- c) Un laboratorio de integración y ensayos, tanto para satélites como para lanzadores.
- d) Un laboratorio de espacialización y aseguramiento, donde se realiza la inspección de partes electrónicas, análisis de fabricación y de fallas, evaluación de performance, etcétera, y se conducen ensayos para determinar si partes de uso comercial o industrial pueden ser utilizadas en el espacio.
- e) El Instituto Gulich para formación de recursos humanos, generación de conocimientos de avanzada y desarrollo de aplicaciones innovativas.

En segundo lugar, se encuentra el Centro Espacial Punta Indio, ubicado en la localidad homónima de la provincia de Buenos Aires, y destinado a la manufactura, integración y ensayos de elementos estructurales. En tercer lugar, en el Centro Espacial Manuel Belgrano, ubicado también en la provincia de Buenos Aires dentro del Área Naval de Puerto Belgrano, se encuentran las plataformas de lanzamiento de los proyectos de acceso al espacio. Finalmente, la Estación Terrena Tierra del Fuego presta apoyo a las misiones del Plan Espacial Nacional y a otras internacionales, recibiendo información de satélites de órbita baja. También prevé instalar antenas para adquirir información de satélites geoestacionarios y brindar soporte al área de acceso al espacio. Adicionalmente, la CONAE ha contribuido a la instalación de la Estación Deep Space 3 en Mendoza, en acuerdo con la Agencia Espacial Europea, y la Estación CLTC-CONAE-NEUQUÉN en Neuquén, bajo un acuerdo con China.

Esta agencia tiene a cargo el diseño y la ejecución del Plan Nacional Espacial a partir de 1994, cuando por decreto N° 2.076²² se promulgó la versión para el período 1995-2006, seguida de una revisión para 1997-2008 publicada en 1999. El último plan fue el de 2004-2015, publicado en 2005 y actualizado luego

²² En dicho decreto se establece que el Tesoro debería garantizar los recursos para su ejecución, y que el plan sería revisado cada dos años a fin de mantenerlo actualizado.

en 2010. Respecto del plan que debería estar vigente, al menos desde mayo de 2019 en el sitio web oficial de la CONAE figura que la versión preliminar del Plan Espacial Nacional 2016-2027 ya había sido aprobada por el directorio de la CONAE y presentada al Poder Ejecutivo; sin embargo, a diciembre de 2020 dicho plan aún no había sido publicado. Según fuentes consultadas para este trabajo, el plan está siendo revisado nuevamente por el directorio actual.

La misión SAOCOM, la más reciente de CONAE, comprende la construcción de dos satélites de observación ambiental. Su dirección está a cargo de la CONAE y el principal contratista para la construcción de los satélites que la componen (SAOCOM 1A y SAOCOM 1B) fue INVAP. El SAOCOM 1A fue lanzado el 7 de octubre de 2018, y el SAOCOM 1B el 30 de agosto de 2020. Ambos tienen una vida útil inicial estimada de cinco años y medio, y operan a 620 km de altura en una órbita heliosíncrona. Su estructura es idéntica: cada uno pesa aproximadamente tres toneladas y mide 4,5 metros de alto por 1,5 de diámetro. Están equipados con una antena Radar de Apertura Sintética, de 10 metros de largo por 3,5 metros de ancho, que trabaja a una frecuencia central de 1.275 GHz con un ancho de barrido que oscila entre los 20 y 350 km.

Como se dijo antes, los satélites SAOCOM tienen diversos usos, entre los que se destacan las actividades vinculadas a la provisión de información para llevar adelante aplicaciones ligadas al sector de la agricultura y al control de plagas. Estas actividades se articulan con el Instituto Argentino de Tecnología Agropecuaria (INTA). Adicionalmente, los satélites SAOCOM buscan mejorar la gestión de riesgos y emergencias hidrológicas, con el fin de prevenir catástrofes naturales o antrópicas. Las actividades vinculadas a estos objetivos se realizan conjuntamente con el Instituto Nacional del Agua (INA). Está prevista una nueva etapa de la misión con dos nuevos satélites, los SAOCOM 2A y 2B.

4.3. ARSAT y las características técnicas y objetivos del ARSAT-2

Previo a la creación de ARSAT en Argentina operaba Nahuelsat, un consorcio de empresas conformado por la francesa Aeroespatale, la italiana Alenia Spazio, la alemana Deutsche Aerospace AG (subsidiaria de Daimler-Benz Aerospace) y la Empresa Brasileira de Telecomunicações. En 1993 la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)²³ asignó a Argentina la posición orbital geoestacionaria (POG) 71,8° Oeste en banda Ku, y la Comisión Nacional de Telecomunicaciones²⁴ adjudicó (por Decreto N° 153/93) a la Unión Transitoria de Empresas (UTE) Nahuelsat la explotación comercial de dicha POG con derechos para transmitir en el hemisferio sur. Esta firma prestó servicios en la POG adjudicada desde 1993 hasta 1997 mediante los satélites alquilados Nahuel C1 (Anik C1) y Nahuel C2 (Anik C2), y desde 1997 hasta 2007 mediante el Nahuel 1A, fabricado por la alemana Dornier Satellitensysteme (principal contratista de Aeroespatale). La vida útil del Nahuel 1A concluyó dos años antes de lo previsto y desde 2007 la POG fue protegida transitoriamente por el satélite AMC-6, arrendado parcialmente al operador de Luxemburgo SES. Los clientes desde Nahuel 1A migraron principalmente al AMC-6, que protegió la POG hasta 2014.²⁵

En 1998 Argentina firmó un acuerdo de reciprocidad con Estados Unidos para la provisión de facilidades satelitales,²⁶ y la transmisión y recepción de señales hacia satélites y desde estos, a través del cual se permitía a los operadores satelitales vender servicios en el país.²⁷ Como Nahuelsat no tenía posibilidad de ofrecer servicios en Estados Unidos desde la POG 71,8° Oeste, con el fin de que existiera cierta reciprocidad Estados Unidos cedió ese mismo año a Argentina la POG 81° Oeste en bandas Ku y C con

²³ La UIT es el organismo especializado de las Naciones Unidas que tiene como función regular las telecomunicaciones a nivel internacional. Este organismo administra la asignación de las posiciones orbitales geoestacionarias (POG) que permiten proveer servicios satelitales a determinados territorios y en ciertas bandas de frecuencias.

²⁴ El organismo de decisión en ese momento.

²⁵ Cuando se produciría la última migración hacia el ARSAT-1, puesto en órbita en octubre.

²⁶ Recursos de espectro radioeléctrico cuantificados en términos de potencia, frecuencia, posición orbital y otros parámetros característicos que brinda un proveedor mediante el sistema satelital.

²⁷ Acuerdo publicado mediante resolución N° 1.384/98 de la entonces Secretaría de Comunicaciones de la Nación.

derechos sobre todo el continente americano. El 27 de noviembre de 1998 mediante Resolución N° 2.593/98 se le asignó a Nahuelsat el uso de la POG 81° Oeste para brindar servicios en bandas Ku y C en los hemisferios norte y sur; ese mismo año se manifestó en los hechos la reciprocidad con Estados Unidos mediante la entrada de DirectTV a Argentina. También ese año, en el marco de la Organización Mundial del Comercio (OMC), Argentina estableció que se exigirían acuerdos de reciprocidad para la comercialización de los servicios de telecomunicaciones satelitales.

Aunque con el pasar de los años el Nahuel 1A (en la POG 71,8° Oeste en banda Ku) comenzó a presentar fallas, la empresa no lo reemplazó y tampoco avanzó en la ocupación de la POG 81° Oeste, lo cual debía hacer antes de 2002. Se solicitaron diversas prórrogas ante la UIT; la tercera y última ponía fecha límite el 19 de octubre de 2005 para ocupar la POG 81° Oeste en banda Ku y C. El 17 de agosto de 2004 por Resolución N° 188/2004 se revocó la resolución en la que Argentina le asignaba la POG 81° Oeste a Nahuelsat, y a finales de 2004 Nahuelsat se declaró en quiebra.

En este marco, el 5 de abril de 2006 se creó ARSAT mediante la Ley N° 26.092, y Argentina le otorgó autorización para explotar la POG 81° Oeste en banda Ku y C y otras posiciones orbitales que resultaran de los procedimientos de coordinación internacionales ante la UIT. A ARSAT se le asignaron los activos de la empresa Nahuelsat, entre los que se contaba con el satélite Nahuel 1A. El 29 de mayo de 2007 se le agregó a esta disposición la autorización para explotar la POG 71,8° Oeste en banda Ku.²⁸

El estatuto de ARSAT dispone que esta autorización tiene como objeto social: a) el diseño, desarrollo, construcción en el país, lanzamiento y/o puesta en servicio de satélites geoestacionarios de telecomunicaciones en posiciones orbitales que resultaran de los procedimientos de coordinación internacionales ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones, y bandas de frecuencias asociadas a esas posiciones y b) la correspondiente explotación, uso, provisión de facilidades satelitales y/o comercialización de servicios satelitales y/o conexos. Si bien la fabricación y el lanzamiento de satélites están comprendidos dentro de sus objetivos, ARSAT pertenece principalmente al eslabón de operadores dentro de la cadena de valor del sector, proveyendo capacidad satelital a sus clientes,²⁹ quienes la transforman en servicios que satisfacen necesidades de telecomunicación. Originalmente el 98% de sus acciones eran propiedad del Ministerio de Planificación y el resto del Ministerio de Economía. En 2015 la participación accionaria del Ministerio de Planificación fue transferida al Ministerio de Comunicaciones. Hoy ese 98% está en manos de la Secretaría de Innovación Pública, dependiente de la Jefatura de Gabinete.

Actualmente ARSAT cuenta con 711 empleados y en 2019 el presupuesto de la empresa contemplaba ingresos corrientes que superaban ligeramente los \$4.240 millones. Al presente, la demanda de capacidad satelital de ARSAT está conformada principalmente por empresas que proveen TV satelital y servicios de telecomunicación satelital. En este segmento la empresa se enfrenta a la competencia de otros operadores que poseen satélites con pisada sobre Argentina y que han obtenido *landing rights* (derechos de aterrizaje).³⁰ A lo largo del tiempo ARSAT fue diversificando sus áreas de negocios en función, fundamentalmente de demandas y planes impulsados desde el Estado nacional. Al presente, sus actividades abarcan cinco unidades de negocios: Televisión Digital Abierta (TDA), Red Federal de Fibra Óptica,³¹ Centro Nacional de Datos, Satélites ARSAT y CINE.AR Play.

La unidad de negocios que más ingresos genera para la empresa es la operación de los satélites ARSAT-1 y 2, cuya construcción correspondió principalmente a INVAP. El ARSAT-1 comenzó a construirse a

²⁸ Acuerdo publicado mediante resolución N° 1.384/98 de la entonces Secretaría de Comunicaciones de la Nación.

²⁹ ARSAT también es proveedora de servicios de telecomunicaciones, lo cual posiciona a la empresa como competidora de sus propios clientes de capacidad satelital, pero con algunas ventajas impositivas sujetas a que se mantenga la participación accionaria del Estado.

³⁰ La provisión de servicios satelitales en el territorio argentino se encuentra sujeta a la previa autorización por el organismo regulador, denominada derecho de aterrizaje.

³¹ Este es el proyecto de infraestructura más ambicioso de la empresa, que como parte del plan federal de Internet proyectaba un tendido de 33.000 km de fibra óptica en el territorio argentino que pretendía conectar 1.200 localidades.

inicios de 2010, fue lanzado el 16 de octubre de 2014 y se ubicó en la POG 71,8° Oeste con un diseño orientado para proveer capacidad satelital sobre Argentina.³² Con un costo total de unos USD 270 millones, se convirtió en el primer satélite geoestacionario de telecomunicaciones en ser construido en América Latina. Tiene un peso en seco de 1.286 kg y de 2.973 kg en húmedo (esto es, contando el combustible o propelente). Cuenta con 24 transpondedores en Banda Ku con una potencia de 12 a 14 GHz instalados y activos. Además, cuenta con ocho canales de reserva para fin de vida, sumando en total 32 canales.

El ARSAT-2 comenzó a construirse a principios de 2014, fue lanzado el 30 de septiembre de 2015 y se ubicó en la POG 81° Oeste con pisada sobre Argentina, países del Corredor Andino, una franja en Brasil que llega hasta San Pablo y Río de Janeiro, y gran parte de América del Norte. Tiene un peso en seco de 1.304 kg y de 2.985 kg en húmedo, y su costo total rondó los USD 250 millones. A diferencia del ARSAT-1, este satélite además de proveer comunicaciones en banda Ku lo hace también en banda C. De sus 26 transpondedores, 20 operan en la Banda Ku y 6 en la Banda C. Los 20 transpondedores de la primera banda mencionada se dividen en 8 de 36 MHz y 12 de 72 MHz. Los seis restantes se dividen en 4 de 72 MHz y 2 de 88 MHz, todos ellos activos desde el principio de vida del satélite.

Por otra parte, en conjunto con INVAP, se está desarrollando el tercer satélite geoestacionario de comunicaciones de la empresa, llamado ARSAT Segunda Generación 1 (ARSAT-SG1). Se trata de un satélite de alto rendimiento (High Throughput Satellite, HTS) que opera en banda Ka. Este tipo de tecnología permite, por sus características técnicas, multiplicar la capacidad del satélite. Su objetivo es otorgar cobertura de banda ancha satelital en sitios rurales en todo el territorio de Argentina, alcanzado algunas zonas de países limítrofes. Se espera que su lanzamiento tenga lugar en 2023, y que entre 2024 y 2025 pueda ofrecer servicios a más de 200.000 hogares localizados en áreas rurales.

4.4 Próximas misiones satelitales de la CONAE y ARSAT

Además de los ya mencionados, la CONAE cuenta con una serie de proyectos para futuros lanzamientos de satélites. Todas las misiones en principio deben estar contempladas en el Plan Espacial Nacional vigente. En efecto, el Plan establece un marco para el desarrollo del sector en sus diferentes dimensiones, incluyendo la fabricación de satélites (aunque no incluye el área de telecomunicaciones), y su procedimiento de actualización comprende una revisión cada dos años. Sin embargo, la última aprobada por el Poder Ejecutivo se realizó en 2010, correspondiente al período 2004-2015. A diciembre de 2020, en la página web de la CONAE figura que "La versión preliminar del 'Plan Espacial Nacional 2016-2027' ha sido aprobada por el Directorio de CONAE y presentada al Poder Ejecutivo Nacional", pero aún no fue publicada. Esto significa que no existe un documento oficial actualizado con la información completa sobre estas misiones, con lo que la información aquí presentada corresponde a una recopilación de datos que se encuentran fragmentados en diversas fuentes, como el sitio web de la agencia, los presupuestos o planes espaciales anteriores.

Como se dijo, los últimos satélites lanzados por la CONAE fueron los SAOCOM 1A y 1B que pertenecen a la serie SAOCOM, la cual consiste de dos series de dos satélites cada una; los SAOCOM 2A y 2B aún no han sido lanzados. Esta segunda serie prevé incorporar avances tecnológicos aprendidos durante la experiencia de la primera, y al igual que esta se desarrollará en el marco de un convenio de cooperación con la Agencia Espacial Italiana, conformando junto a cuatro satélites italianos el llamado SIASGE (Sistema Italo Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias). Al igual que los SAOCOM 1, la carga útil de los SAOCOM 2 consistirá en un sistema de radar de apertura sintética y una cámara de

³² Sin embargo, su cobertura abarca Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay, parte de Bolivia, Islas Malvinas y el sector norte de la Antártida Argentina.

infrarrojo térmico. El presupuesto para 2020 de la CONAE determinó comenzar la reingeniería de la misión SAOCOM 2 y fijó un monto de \$50 millones.

La Misión SABIA-Mar es un proyecto de cooperación entre la CONAE, la Agencia Espacial Brasileña (AEB) y el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE), que busca poner en órbita una constelación de dos satélites para el estudio del mar y las costas. Si bien inicialmente se preveía que los países colaboraran en la fabricación de ambos satélites, luego las responsabilidades se repartieron de manera que cada país se encuentra a cargo de uno de los satélites. Esta misión de observación de la Tierra tiene por objeto principal aportar datos sobre productividad primaria del mar, ecosistemas oceánicos y costeros, ciclos de carbono, biodiversidad y ambiente marino, manejo de recursos pesqueros y vigilancia en el mar, y calidad de agua en costas y estuarios a partir del estudio del color del mar a nivel regional e internacional.

El satélite SABIA-Mar 1, a cargo de la CONAE, presenta una carga útil constituida por instrumentos que se dividen en primarios y secundarios de acuerdo con los objetivos de la misión. El instrumento primario está compuesto por dos cámaras ópticas: una de rango visible-infrarrojo cercano (VIS-NIR), con una resolución espacial de 200 metros en costas y 800 metros a mar abierto; y otra de rango infrarrojo cercano-infrarrojo onda corta (NIR-SWIR), con una resolución espacial de 400 metros en costas y 800 metros a mar abierto. Por otro lado, el instrumento secundario está compuesto por un sistema de recolección de datos (DCS) y dos cámaras, una térmica (TIR) y la otra multiespectral (MAC). Este satélite alcanzará una resolución espectral de 200 metros y 800 metros para el escenario regional (sobre las costas nacionales) y global respectivamente, y en ambos casos presentará un tiempo de revista³³ de dos días. La constelación completa, es decir una vez incorporado el SABIA-Mar 2 a cargo de la AEB, alcanzará un tiempo de revista de un día, tanto para el escenario global como el regional costero.

En 2018 finalizó la revisión crítica del diseño del satélite SABIA-Mar 1, lo cual dio inicio a su fabricación, y su puesta en órbita está prevista para 2022. Además de la CONAE en la coordinación y dirección e INVAP como principal contratista, en el proyecto participan la empresa VENG y organismos científico-tecnológicos como la CNEA y el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR). El presupuesto de la CONAE para 2020 definía el objetivo de completar la etapa de ingeniería de detalle, realizar la revisión crítica de diseño de los segmentos de Tierra y de aplicaciones, y comenzar la fase final de manufactura, integración y ensayos. Para ello estableció un presupuesto de \$1.914 millones, financiados mediante un préstamo de la Corporación Andina de Fomento (CAF).

Otra de las futuras misiones es la serie SARE, la cual estará conformada por satélites livianos de arquitectura segmentada, la cual consiste en el despliegue de una constelación de satélites (segmentos) que, operados coordinadamente, cumplen un objetivo común, como la conformación de una única imagen de alta resolución mediante cámaras ópticas de diversos satélites. Así, cada segmento porta una única carga útil y comparte sus recursos con el resto de la constelación mediante una red inalámbrica en órbita. Dado que la arquitectura segmentada permite realizar sucesivos lanzamientos de satélites más livianos, el programa de medios de acceso al espacio de la CONAE se ha puesto como primer objetivo desarrollar un lanzador para estos satélites.

Los satélites SARE conforman misiones de observación de la Tierra, en el marco de las cuales realizarán una serie de tareas con características y componentes comunes, y con la capacidad de interactuar entre sí y compartir recursos. Esta serie se divide en dos grupos: SARE con carga útil óptica y SARE con carga útil de microondas (en particular, las de SAR). La serie SARE óptico tiene por primera misión conformar una constelación de satélites con sensores de alta resolución espacial. Cada uno llevará a bordo una cámara pancromática y una multiespectral. Su objetivo es ocuparse principalmente de aspectos urbanos, cartografía, transporte y seguridad. Entretanto, la serie SARE microondas, que se lanzará primero según las previsiones vigentes, apunta a realizar aportes a la agricultura y a todo lo relacionado con generación

³³ Es el lapso que demora un satélite en volver a observar un mismo punto sobre la Tierra.

de modelos digitales de terreno, cartografía, ordenamiento territorial y estudios urbanos. El presupuesto de la CONAE para 2020 fijaba un monto de \$181 millones para el diseño, fabricación, integración y ensayo de cuatro satélites SARE, y tenía previsto para dicho ejercicio desarrollar la ingeniería básica de la misión óptica.

En el plano de las misiones geostacionarias, existe actualmente un proyecto para el tercer satélite de telecomunicaciones que integrará la flota de ARSAT, cuyo contrato de construcción se encontraba a noviembre de 2020 en un proceso de negociaciones con INVAP. El lanzamiento estaba previsto para 2018, pero por retrasos y tras un período sin anuncios sobre la fabricación (Pascuini, 2020), se reactivó en febrero de 2020 bajo el nombre de ARSAT-SG1. Este proyecto prevé una nueva plataforma de propulsión eléctrica que desarrolla la *joint venture* GSATCOM, creada en 2019 por INVAP, y la empresa Turkish Aerospace Industries (TAI)³⁴ de Turquía. Este proyecto prevé el lanzamiento para la primera mitad de 2023 y una vida útil de 15 años.

La plataforma de propulsión eléctrica permitiría mejorar la relación entre la potencia eléctrica del satélite asignada a su carga útil de telecomunicaciones y su peso, un indicador que mide la eficiencia de satélites de telecomunicaciones. Por un lado, cuanto mayor es la potencia eléctrica, mayores son la capacidad de telecomunicaciones y por lo tanto las prestaciones. Por el otro, un menor peso implica, por ejemplo, menores costos en el lanzamiento. El atractivo de la propulsión eléctrica es su capacidad de reducir drásticamente el peso húmedo del satélite, lo cual permite usar ese peso disponible ya sea para aumentar la carga útil o para reducir el tamaño del satélite y los costos de su lanzamiento. Como contrapartida, los satélites con propulsión eléctrica demoran más tiempo en ubicarse en su órbita definitiva, lo cual implica un costo adicional.

Según anuncios de la empresa en su [página web oficial](#), el proyecto para el ARSAT-SG1 presenta una carga útil en banda Ka con una capacidad de tráfico de datos superior a los 50 Gbps, lo que lo convierte en el primer satélite en operar con estas características en Argentina. Además, el proyecto prevé incluir la tecnología HTS (*High Throughput Satellite*), que permite la reutilización de frecuencias con haces de cobertura reducida, lo cual multiplica la capacidad total disponible en el satélite. Tendrá unos 40 haces que cubrirán la totalidad del territorio argentino continental, la isla de Tierra del Fuego y parte de los países limítrofes. El objetivo del satélite es proveer banda ancha satelital confiable de alta calidad, entre cuyos usos se encuentra la ampliación de las redes actuales 4G y las futuras 5G de los operadores de comunicaciones móviles.

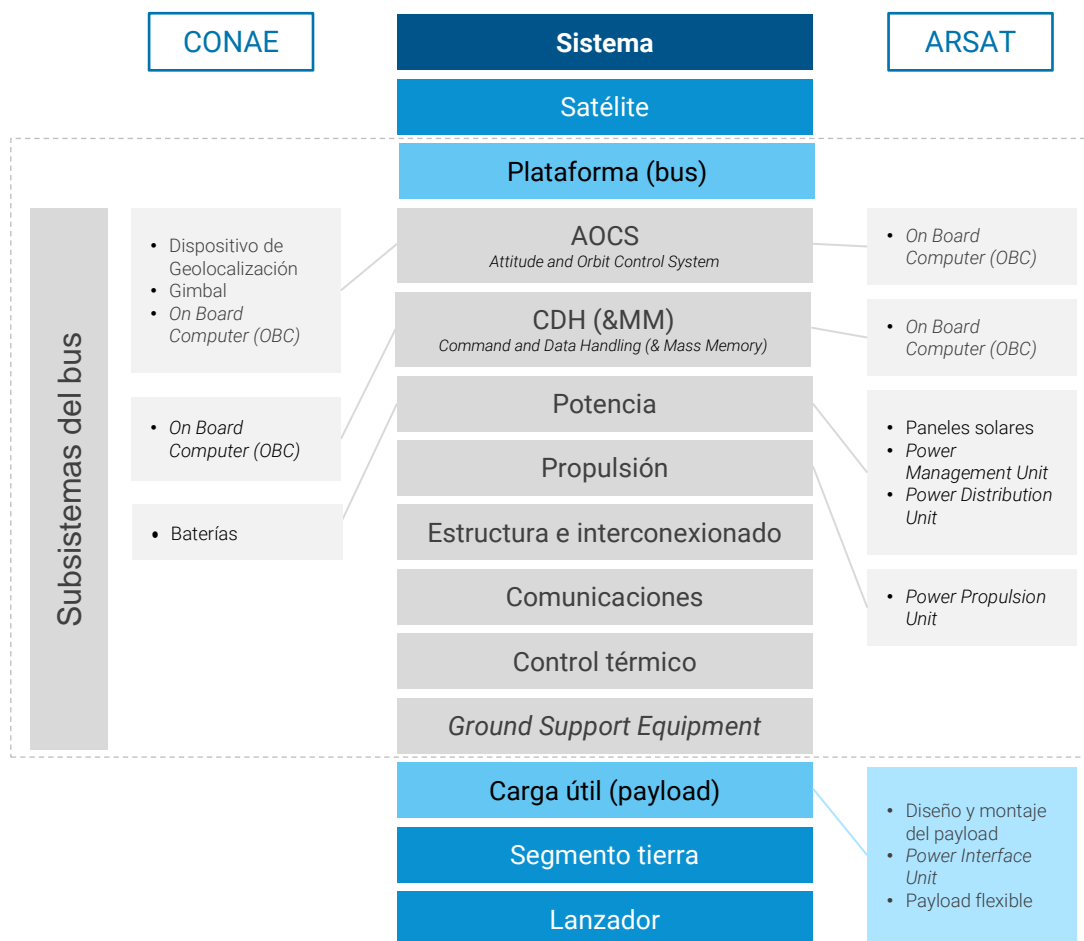
Como se dijo antes, el lanzamiento del tercer satélite de la flota ARSAT se encuentra retrasado respecto del plan de construcción de satélites geostacionarios 2015-2035 incluido en el anexo de la Ley de Desarrollo de la Industria Satelital, sancionada en 2015. Entre otras definiciones, en aquel plan se incluyó un cronograma de fabricación en el que se establecía que la plataforma eléctrica se alcanzaría progresivamente, después de pasar por plataformas con propulsión híbrida (esto es, en parte química y en parte eléctrica). Así, el anexo de la Ley de 2015 preveía que la plataforma completamente eléctrica sería implementada por primera vez en 2029 en un satélite que reemplazaría al ARSAT-1, y luego sería empleada nuevamente en el reemplazo del ARSAT-2. Sin embargo, además de las demoras en el tercer satélite de la flota ARSAT, ahora planteado como ARSAT-SG1, se han registrado retrasos en la fabricación de un satélite de propulsión química (que en el plan original debía lanzarse en 2019) y en los primeros dos con propulsión híbrida (con lanzamiento previsto para 2019 y 2022 respectivamente). El caso del ARSAT-SG1 ilustra que estos planes han sufrido modificaciones (y probablemente se salteen esas etapas), por lo que requieren una actualización. De hecho, la ley estipula una revisión cada tres años a cargo de ARSAT, pero la correspondiente a 2018 no se ha realizado, o al menos no se ha hecho pública.

³⁴ Es una empresa pública. El 54,49% de sus acciones se encuentra en poder de la Fundación de las Fuerzas Armadas de Turquía (TAFF), el 45,45% pertenece a la Subsecretaría de Industrias para la Defensa y el 0,06% restante a la Asociación Aeronáutica Turca. La TAFF, a su vez, es administrada por miembros de los Ministerios de Industria y Tecnología y de Defensa, y las Fuerzas Armadas, entre otros organismos.

5. Encadenamientos aguas arriba

Tras el trabajo de campo realizado con ambas instituciones, se identificaron los componentes de misiones de la CONAE y ARSAT que en lanzamientos anteriores fueron importados y que tienen mayor potencialidad para ser integrados localmente en misiones futuras.

Figura 3. Componentes con mayor potencialidad de ser integrados en futuras misiones de la CONAE y ARSAT



Fuente: elaboración propia con base en entrevistas con ingenieros de la CONAE, ARSAT e INVAP.

A continuación se reseña para cada uno de los componentes y servicios identificados su vinculación con las funciones de los distintos subsistemas,³⁵ quién lo está desarrollando en Argentina y desde cuándo, los proveedores internacionales actuales y los valores de mercado si se dispusiera de esa información, en qué tipo de misiones se podrían integrar y cuándo, y los principales obstáculos para que el desarrollo sea comercializable, tanto en su versión espacial como en posibles alternativas en otras industrias.

³⁵ En el Anexo 3 del presente trabajo se presenta un resumen sobre las principales funciones de los subsistemas a los que se hará referencia en esta sección.

Dispositivo de geolocalización

Sistemas Electrónicos de Navegación y Telecomunicaciones (SENYT), una unidad de I+D dependiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata (UNLP), está llevando adelante el desarrollo de dispositivos de geolocalización desde el inicio de la misión del satélite SAC-D (2003-2004). Estos dispositivos cumplen funciones asociadas al Attitude and Orbit Control System del *bus* en la mayoría de las misiones LEO y tienen un uso específico en las misiones GEO. En particular, permiten a misiones de observación de la Tierra como la del SABIA-Mar o a satélites del tipo CubeSat hacer uso de sistemas de posicionamiento como GPS o Glonass, y también tienen utilidad en misiones de satélites GEO en el trayecto que va desde las órbitas de transferencia hacia la órbita geoestacionaria final. A nivel internacional los dispositivos son provistos directamente por empresas como Thales Alenia o por intermediarios que compran a estas empresas y se presentan a licitaciones de baja envergadura, como sucedió en el caso de la misión de SAOCOM. El receptor de GPS importado para la misión SABIA-Mar alcanzó un valor de mercado de USD 1,5 millones, mientras que, en caso de ser producido localmente a partir del desarrollo que se está llevando adelante, se estima que se requerirían USD 400-500.000 para la importación de los insumos necesarios.

Dado que el sistema se produce en volúmenes acotados para misiones específicas, el mismo SENYT podría producirlo en asociación con alguna empresa local privada, como por ejemplo Arsultra o Imer Antennas. Según los especialistas consultados, el desarrollo del producto para su uso en satélites está completo, pero se enfrenta a limitaciones en tanto no sea probado en una misión satelital, oportunidad que podría ser dada por la CONAE como se ha hecho con otros desarrollos locales en el pasado. Eventualmente, el componente podría ser incluido de manera redundante en una misión, lo cual permitiría sortear el principal riesgo de este desarrollo (el peligro de falla una vez lanzado al espacio), y a la vez testear si funciona en el entorno para el cual fue diseñado. Por fuera del sector espacial, el sistema podría utilizarse para UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*), aplicaciones en defensa, grúas para transporte de containers en puertos y colectivos urbanos o de larga distancia. Según surge de las entrevistas, la mayor limitación para desarrollar estas aplicaciones reside en la falta de inversiones iniciales que los potenciales clientes, tanto privados como el propio Estado, no han estado dispuestos a aportar hasta el momento. Del trabajo de campo realizado también surge que, independientemente del financiamiento para el desarrollo de estas aplicaciones en industrias no espaciales, existen otras políticas públicas, como el Compre Nacional, que pueden ser relevantes para impulsar este tipo de proyectos. Respecto de la posibilidad de exportación, si bien los grandes clientes a nivel internacional tienen estándares de calidad que excederían la capacidad local, el desarrollo podría insertarse en mercados de nicho con clientes privados de menor tamaño o ser exportado a otros países de la región.

Gimbal

El dispositivo Gimbal que cumple funciones asociadas al Attitude and Orbit Control System del *bus* para posicionamiento de antenas es utilizado en algunos satélites, pero es una tecnología con aplicaciones en múltiples industrias. En Argentina está siendo desarrollado en conjunto por las empresas SADE y FixView junto con la UNLP, donde el GEMA realiza los ensayos de espacialización, temperatura y vibración. Originalmente este desarrollo fue concebido para su utilización en las misiones de la CONAE que involucran arquitectura segmentada, dado que los diferentes satélites requieren esta pieza para reposicionar sus antenas y así transmitir información entre ellos. Si otro tipo de satélite requiriera orientación de antenas podría recurrir a este equipo, pero no todos los satélites llevan Gimbal. De hecho, ningún satélite de CONAE o ARSAT ha utilizado Gimbal, por lo que no hemos podido acceder a un valor de referencia con base en misiones pasadas.

El desarrollo se encuentra en la etapa de prototipado, actualmente se están reuniendo fondos para completar el pago de los insumos requeridos, y no hemos podido conseguir precisiones sobre cuándo

estará completo. En cuanto a las etapas posteriores que incluyan la comercialización, en caso de tener éxito el prototipo, SADE u otras empresas privadas como FixView podrían llevar adelante la fabricación. Según nos informaron las autoridades de FONARSEC en consultas para este trabajo, en el marco de un programa de desarrollo de proveedores llevado adelante por la ANPCyT (ver sección 6), el fondo asignó para el desarrollo del Gimbal un financiamiento de \$16 millones en 2018 mientras que los beneficiarios aportarían³⁶ aproximadamente \$9 millones; no obstante, en el trabajo de campo realizado se nos informó sobre obstáculos burocráticos y demoras para acceder a dicho financiamiento que, dada la particular relevancia de los insumos importados y la volatilidad del tipo de cambio, implican costos adicionales en términos de la proporción del contrato que debe ser financiado por los beneficiarios.

Respecto de otras aplicaciones de esta tecnología, se nos ha informado que ya está siendo utilizada por FixView para la industria aeronáutica, cuyas exigencias de calidad son intermedias, y también por Jasfly, una empresa de La Plata que utiliza helicópteros para vigilancia del fuego. Adicionalmente se emplea para aplicaciones de vigilancia por medio de cámaras, posicionamiento de antenas para transmisión desde tierra en la industria de las comunicaciones, o el sector de transporte. Estas aplicaciones requieren ensayos menos exigentes que las espaciales, y podrían realizarse en laboratorios diferentes de los del GEMA. Según las fuentes consultadas en todos estos casos estas aplicaciones ya existen y el problema es la inserción en el mercado; un posible impulso podría provenir, por ejemplo, del Compre Nacional para las fuerzas de seguridad locales.

Baterías

Actualmente el GEMA está a cargo del desarrollo de un proceso de integración de baterías, las cuales cumplen funciones asociadas al subsistema de potencia del *bus* del satélite. Este desarrollo comenzó en 2005 con investigadores vinculados a la UNLP, institución que, como parte de un consorcio³⁷ beneficiario del programa de desarrollo de proveedores mencionado, recibió un financiamiento de \$7,8 millones. Potencialmente derivaría en baterías que podrían incluirse en misiones como SABIA-Mar u otras de observación de la Tierra, o de pequeños satélites del sector privado, pero no de satélites GEO debido a los mayores requerimientos de calidad. En misiones anteriores de la CONAE el proveedor ha sido la empresa francesa SAFT, y actualmente el valor de mercado de las baterías se ubica en torno a USD 1 millón o más, según la capacidad de la batería. Finalizado el desarrollo en marcha, según la información recogida en el trabajo de campo, el contenido local de una batería integrada en Argentina podría alcanzar un 40% de su valor total, y su integración podría ser llevada adelante por la Facultad de Ingeniería de la UNLP, que cuenta con las capacidades tecnológicas necesarias.

Existen dos prototipos de baterías próximamente listos. Aunque no han sido probadas en satélites, las baterías sí han sido testeadas en proyectos de lanzadores; en particular se han realizado pruebas de vuelo en los VEx 1, 2 y 5 con resultados exitosos, según se nos informó en el trabajo de campo. Resta alcanzar la certificación de vuelo a bordo de un satélite que, según surge de las entrevistas, es la principal limitante para la exportación de baterías de satélites (además de los costos, naturalmente). Una posibilidad para hacer esta prueba de vuelo sería emplear la batería en paralelo a la real de alimentación en vuelo (como prueba de validación funcional), lo que requeriría de aproximadamente dos años de desarrollo e implementación previas a un eventual lanzamiento.

Si bien a partir de este desarrollo sería posible integrar baterías para otras industrias, la posibilidad de que sean competitivas es limitada debido a la alta participación del costo de las celdas importadas sobre el valor de las baterías en la mayoría de los segmentos de aplicación. Sin embargo, mediante inversiones en compra de maquinaria podrían integrarse baterías para algunos otros nichos de mercado, por ejemplo, para la reconversión de vehículos. Respecto de las posibilidades de fomentar, a partir de la integración

³⁶ Beneficiarios proyecto PE-SAT-GIMBAL-0001: Universidad Nacional de La Plata, Sade Electromecánica S.A., Fundación de la Facultad de Ingeniería para la transferencia tecnológica y la promoción de empresas de bienes y servicios.

³⁷ Conformado por las mismas instituciones beneficiarias del financiamiento para el desarrollo del Gimbal.

de baterías, encadenamientos hacia atrás para producir electrodos y componentes, los desafíos están asociados al desarrollo de las capacidades para participar en los eslabones previos, donde la tecnología y los mercados se concentran en empresas que operan en unos pocos países asiáticos con elevadas escalas y bajos costos (Obaya *et al.*, 2020). Las acciones encaradas desde el Ministerio de Desarrollo Productivo para promover la fabricación local de insumos asociados a la naciente industria de la electromovilidad pueden ayudar a generar las capacidades necesarias para insertarse en algunos eslabones o segmentos dentro de dicha industria.

On Board Computer

La On Board Computer (OBC) es una computadora que actúa como el “cerebro del satélite” realizando funciones que se pueden vincular a distintos subsistemas. Los satélites en general tienen una OBC, que puede, en ciertos casos, realizar funciones que en otras variantes también podrían ser realizadas por dispositivos independientes. Así, por ejemplo, en misiones de la CONAE, INVAP había producido dispositivos con funciones asociadas a los subsistemas de CDH&MM y AOCS, mientras que en los ARSAT-1 y 2 los dispositivos con funciones asociadas al subsistema de CDH fueron importados (Thales Alenia y Airbus), e INVAP proporcionó el dispositivo para funciones asociadas al AOCS. Según información recogida en las entrevistas con autoridades de INVAP, la empresa también registró al menos una exportación de este tipo de dispositivos a Brasil.

INVAP está desarrollando desde 2016 una OBC que puede condensar las funciones asociadas a los subsistemas de CDH y el AOCS para satélites GEO de telecomunicaciones. Mediante este desarrollo, una única computadora diseñada, manufacturada y testeada por INVAP ejecutaría todas las funciones que previamente (ARSAT 1 y 2) eran realizadas por distintos dispositivos y módulos lo cual, según personal del INVAP entrevistado durante el trabajo de campo, va en línea con la tendencia reciente en el mercado internacional. El valor de una OBC con estas características ronda los USD 3,5 millones, y la integración local, de realizarse, cubriría un 75%.

A partir de este desarrollo, INVAP podría proveer las OBC para el próximo satélite de ARSAT y también para la misión SABIA-Mar. Además, al tratarse de una tecnología evolucionada respecto de la experiencia de exportación a Brasil, el personal de INVAP consultado prevé que esta nueva OBC también tenga potencialidad de exportación. Entre las otras industrias a las cuales puede aplicarse esta tecnología se encuentra la aeronáutica, aunque personal entrevistado de INVAP señaló la dificultad de insertarse en este mercado dominado por actores especializados. No obstante, la empresa está aprovechando el *know how* para aplicarlo a proyectos vinculados a UAVs para defensa, bajo un convenio con el Ministerio de Defensa de la Nación. Respecto de encadenamientos con la industria local, según información suministrada por INVAP, la placa ADIO que se incluiría en la OBC del SABIA-Mar fue desarrollada por la empresa EMTECH. Este proveedor formó parte de un consorcio³⁸ que en 2018 recibió un financiamiento de \$8,6 millones en el marco del programa de desarrollo de proveedores antes mencionado.³⁹

Paneles solares

Para mantener en funcionamiento sus dispositivos y subsistemas, un satélite requiere de energía que es recolectada por paneles solares, función asociada al subsistema de potencia. Para el satélite SAC-D y para los SAOCOM, INVAP fabricó la estructura y mecanismos de los paneles solares, mientras que el DES estuvo a cargo del cableado y de la integración de celdas solares (importadas) a dicha estructura. En cambio, para los ARSAT-1 y 2 se importaron los paneles completos debido a las mayores exigencias de calidad requeridas en una misión GEO; Airbus fue proveedor externo y el valor de los paneles rondó los

³⁸ El beneficiario del programa es un consorcio entre EMTECH y la Universidad Nacional del Sur.

³⁹ Según nos informaron en diciembre de 2020 autoridades de FONARSEC, este consorcio a cargo del desarrollo de un módulo de I/O para la OBC estaba en proceso de solicitud de extensión de plazos para seguir trabajando en el proyecto.

USD 6 millones. Según personal de INVAP consultado, si bien no sería factible integrar localmente los paneles solares de un satélite GEO en su totalidad, un próximo paso en esa dirección es que la empresa desarrolle la estructura y mecanismos de paneles solares para satélites GEO, mientras que la integración de celdas importadas sería provista por la empresa norteamericana SolAero. De esta manera, aproximadamente un 60% del valor de los paneles solares sería de integración local, y según se informó podría implementarse en el próximo satélite de ARSAT.

Si bien INVAP ofrece en su portfolio de productos y servicios los paneles para satélites LEO, aún no se han verificado exportaciones de este tipo de productos. Respecto de los impactos sobre otras industrias, INVAP subcontrata la fabricación de la parte mecánica de los paneles solares a empresas locales, al igual que lo hace con otros desarrollos. El DES, por su parte, no ha desarrollado el proceso de integración de celdas solares para satélites GEO debido a que se requieren altos niveles de inversión en infraestructura. En el caso de que la CNEA pudiera desarrollar este proceso, reemplazando el trabajo de integración de celdas de SolAero (la cual seguiría proveyendo las celdas), el nivel de integración local de los paneles se elevaría 30 p.p., llegando a un 90% del valor de los paneles para satélites GEO.

Unidades del subsistema de potencia

Asociadas al subsistema de potencia se encuentran también la Power Management Unit (PMU) y la Power Distribution Unit (PDU). La primera está encargada de recibir energía de los paneles solares, cargar las baterías y regular la tensión en el satélite, mientras que la segunda distribuye la potencia entre los distintos subsistemas y mide corrientes y tensiones. Aunque ambas unidades ya habían sido desarrolladas por INVAP para satélites LEO y serán utilizadas en la misión SABIA-Mar, para el caso de los satélites GEO ARSAT-1 y 2 fueron provistas por Thales Alenia. Desde 2015, INVAP está desarrollando una PMU y una PDU para ser utilizadas en este tipo de satélites. Se trata de dispositivos cuyo valor de mercado asciende a USD 4 millones y USD 2 millones respectivamente, y que de producirlos INVAP, según fuera informado por su personal, aproximadamente un 75% de su valor sería integrado localmente. Nuevamente con base en la información recogida en las entrevistas para este trabajo, se ha estimado que estos desarrollos locales podrían implementarse en el próximo satélite de ARSAT.

Tal como sucede en varios de los desarrollos que han sido informados por INVAP, la participación de otros proveedores locales en su producción se limitaría a los aspectos mecánicos. INVAP podría comercializar en el mercado internacional estos dispositivos, que según surge de las entrevistas realizadas incorporan tecnología de frontera. Como contracara, al tratarse de un desarrollo nuevo requiere mayor experiencia de vuelo para certificar su calidad, por lo que su comercialización en el mercado internacional se vería condicionada a un requerimiento previo de participar en varias misiones, algo que solo es posible si se incorpora este proyecto a los próximos de la CONAE y ARSAT. La tecnología también tiene aplicaciones en la industria aeronáutica, aunque por el momento INVAP no prevé utilizarla para sus desarrollos en ese sector.

Power Propulsion Unit

Se dice que un satélite cuenta con un sistema de propulsión *full electric* cuando utiliza propulsión eléctrica tanto para dirigirse hacia su órbita final como para reposicionarse luego de que factores externos lo desvíen. Dado que el satélite debe llevar consigo el combustible requerido para hacer funcionar su sistema de propulsión, la elección del mecanismo de propulsión impacta en el peso final del satélite. Los sistemas de propulsión eléctricos demandan menor peso de combustible que los químicos, lo cual puede implicar un menor peso total que reduce los costos de lanzamiento o que, alternativamente, puede compensarse aumentando la carga útil del satélite y por lo tanto sus prestaciones. En efecto, esta es una de las ventajas de la propulsión eléctrica, que implica menor peso que sus alternativas. Como punto negativo, un satélite de propulsión eléctrica requiere mayor tiempo hasta alcanzar su órbita final. Se trata

de una tecnología novedosa: los primeros satélites de propulsión eléctrica fueron lanzados por Boeing en 2015.

Un sistema de propulsión eléctrico tiene cuatro componentes principales: los *thrusters* (propulsores), su electrónica de control (Power Propulsion Unit, PPU), el *piping* y el tanque de gas. El gas almacenado en el tanque es conducido a través del *piping* hasta una cámara, donde es ionizado mediante energía proveniente de los paneles solares y eyectado mediante los propulsores, lo que da impulso al satélite. Desde 2019 INVAP está desarrollando la PPU, que consiste en el componente más caro y estratégico del sistema, debido a su complejidad tecnológica y a las dificultades para acceder a él en un mercado con muy pocos oferentes y con su mencionada naturaleza estratégica. En una entrevista realizada a fines de 2017, personal directivo de INVAP comentó que la empresa ya había avanzado en el desarrollo del concepto, realizando un análisis de factibilidad y definiendo qué partes de la plataforma eléctrica serían desarrolladas localmente (López y Pascuini, 2018). Este concepto consiste en la propulsión basada en plasma, una de las variantes de la propulsión eléctrica.

Según nos informó personal de INVAP entrevistado para este trabajo, la PPU podría integrarse en el próximo satélite de ARSAT, para el cual INVAP también podría proveer el *piping*, y de hecho estos desarrollos vinculados al subsistema de propulsión también podrían incorporarse en misiones de la CONAE que lo demandaran. Para los ARSAT-1 y 2, el sistema de propulsión fue provisto por la empresa Airbus. Dado que se trató de un sistema químico, no es posible realizar una comparación directa con los costos del eléctrico, pero según el personal de INVAP consultado, el valor de la PPU en el mercado es USD 4 millones superior al requerimiento de importaciones en el marco de una integración del sistema incorporando los desarrollos que está llevando adelante dicha empresa.

Respecto del involucramiento de otros actores locales, solo se prevé que participen en cuestiones mecánicas, al igual que en los otros desarrollos de la empresa mencionados en este trabajo. Por otra parte, la propiedad intelectual de la plataforma corresponde a GSATCOM, empresa conformada por INVAP y Turkish Aerospace Industries. La plataforma también podría exportarse, en parte debido a que se trata de una tecnología relativamente nueva en el mercado, siempre con las mismas limitaciones que impone la falta de experiencias exitosas previas.

Payload Interface Unit

Los satélites GEO de telecomunicaciones cuentan con una Payload Interface Unit (PIU), que cumple las mismas funciones que la PDU del subsistema de potencia del *bus*, pero está direccionada al payload y administra sus distintas interfaces, lo cual comprende la interfaz de potencia, pero también, por ejemplo, la de comandos. INVAP está desarrollando una PIU desde 2019, previamente provista por Thales Alenia en los ARSAT-1 y 2. La PIU tiene un valor de mercado que ronda los USD 1,5 millones, y este desarrollo de INVAP permitiría que un 75% de dicho valor sea agregado localmente.

Payload flexible

Es una tecnología que permite en los satélites de telecomunicaciones reconfigurar las frecuencias, la cobertura y la asignación de potencia una vez que ya se encuentran en órbita, lo cual otorga flexibilidad al operador para satisfacer cambios en las necesidades de los clientes, entre otras ventajas. Se trata de una tecnología aún más nueva que las plataformas eléctricas; de hecho, se nos informó en entrevistas que existen tan solo unos pocos satélites en órbita que la utilizan. En 2019 INVAP comenzó con el desarrollo de esta tecnología para satélites GEO de telecomunicaciones, que no podría incorporarse en el próximo satélite de ARSAT, pero representaría una oportunidad para la exportación y podría utilizarse para mejorar la *performance* de futuros satélites GEO de telecomunicaciones locales. Los proveedores actuales de este tipo de tecnología son empresas como Thales, Airbus o MDA y el valor de este tipo de

productos ronda los USD 45 millones, 60% del cual sería de integración local en el caso de que se concretara el desarrollo argentino, según fue informado por personal de INVAP.

Diseño y montaje del payload

Finalmente, la fabricación de un satélite incluye los procesos de diseño, integración al *bus* y pruebas funcionales del payload. En ocasiones es el mismo integrador del satélite quien lleva a cabo esta etapa, pero en otros casos el proveedor del payload es quien envía recursos humanos a la planta del fabricante para llevar a cabo estas tareas. Si bien INVAP ya dominaba estos procesos para satélites LEO y los ha llevado a cabo en misiones de la CONAE, para los ARSAT-1 y 2 fueron provistos por Thales Alenia. Ahora INVAP se encuentra desarrollando estos procesos para su aplicación en satélites GEO, actividad que podría incorporarse en el siguiente satélite de ARSAT. Esto implicaría una mayor integración local en tanto se dejan de importar estos servicios, según informó personal de INVAP, por un monto que, si bien es difícil de calcular, sería equivalente a un 25% del valor de la carga útil (que se encuentra, según información recibida en el trabajo de campo, entre USD 10 y 40 millones). Las implicancias se redoblarían si a futuro la empresa exportara un satélite, ya que la inclusión de este servicio representaría una porción significativa de su valor de exportación.

6. Los programas de desarrollo de proveedores y transferencia de tecnología en la industria espacial

En esta sección se presentan experiencias recientes orientadas al desarrollo de proveedores en Argentina y en otros países de mayor trayectoria en el sector. En el caso argentino se presentan los proyectos de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), y otras actividades de transferencia de tecnología y utilización de capacidades; y en el ámbito internacional se presentan experiencias de Corea del Sur, India y Japón.

6.1. Experiencia local

Argentina ha lanzado proyectos de desarrollo de proveedores en el sector espacial, promovidos por la ANPCyT y con financiamiento del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC). Estos proyectos se encuentran enmarcados en el programa Proyectos Estratégicos del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, creado con el objetivo de atender problemas con alto impacto social, y potenciar la competitividad y el desarrollo productivo local en 12 áreas entre las que se encuentra la tecnología aeroespacial con potencial industrial. El rol principal del Ministerio en este marco es, por un lado, conseguir financiamiento externo para que proveedores de instituciones en el área aeroespacial puedan realizar los desarrollos necesarios para fabricar piezas que hoy en día se importan y, por otro lado, buscar clientes en el exterior para estos productos. En el área espacial los proyectos están orientados a la generación de capacidades científicas e industriales para la fabricación nacional de partes satelitales, en el marco del Plan Espacial Nacional.

En 2016 la ANPCyT realizó la convocatoria pública Desarrollos Satelitales, con el objetivo de diseñar la ingeniería de base y de detalle de prototipos experimentales para partes de satélites y lanzadores. La convocatoria estaba dirigida a instituciones u organismos públicos o privados bajo un régimen de Convenio Asociativo Público-Privado (CAPP), e incluía el desarrollo de:

- a) Un Gimbal, mecanismo responsable de apuntar una antena y que podría utilizarse en otras aplicaciones satelitales u otras industrias.
- b) Un módulo de CPU para computadora de a bordo para gestión comandos y telemetría, almacenamiento de datos y control de altitud y órbita.
- c) Un módulo de I/O para computadora de a bordo, que extiende las capacidades de la computadora y cuyo comercio internacional está regulado por la International Traffic Arms Regulations.
- d) Detonadores y actuadores piro-mecánicos utilizados en la terminación de un vuelo o en la separación y despliegue.
- e) El proceso de integración de celdas para producir baterías para satélites, que actúan como reserva de energía en caso de perder momentáneamente la generación de energía por parte del panel solar.

El programa incluía financiamiento para uno de cada uno de estos prototipos. En 2017 se lanzó una nueva convocatoria que incluía los mismos desarrollos a excepción del Gimbal, y los detonadores y actuadores.

En 2018 la ANPCyT lanzó la convocatoria Investigaciones Orientadas para Satélites, dirigida a instituciones u organismos de investigación públicos o privados, y con el objetivo de manufacturar partes de lanzadores satelitales. Esta convocatoria incluía financiamiento para el desarrollo de procesos de manufactura de recipientes livianos y un estudio de prefactibilidad de piezas de carbono-carbono, las cuales permitirían reducir el peso de los lanzadores y en consecuencia los costos. También se incluía financiamiento para pluvimeturgia, asociada a la manufactura de componentes críticos para el Plan Espacial, que permitiría simplificar la fabricación de piezas tradicionales y disminuir así costos y plazos.

Las convocatorias de 2016 y 2017 se encuentran cerradas y, si bien las adjudicaciones no están publicadas en la página de la ANPCyT, a partir de la consulta realizada para este trabajo la dirección del FONARSEC ha informado que se han adjudicado cuatro de los cinco proyectos⁴⁰ incluidos en esas convocatorias, con montos que van desde los \$10,8 millones hasta los \$43,3 millones. El financiamiento fue del 60 al 80% y los beneficiarios fueron consorcios en los que siempre se encontraba presente una universidad nacional (de La Plata, del Sur y de Mar del Plata) y una empresa perteneciente al ecosistema de proveedores de base tecnológica de la industria satelital. Tres de los cinco proyectos tienen vencimiento entre abril y julio de 2021, mientras que el del módulo de I/O está en proceso de solicitud de extensión de plazos para seguir trabajando.

La convocatoria Investigaciones Orientadas para Satélites, según informa la página de la ANPCyT a diciembre de 2020, se encuentra en evaluación desde octubre de 2018. Sin embargo, según nos fue informado por la dirección de FONARSEC, en uno de los proyectos aprobados el beneficiario fue la Universidad de Buenos Aires y en el otro la Universidad Nacional de Mar del Plata, con un financiamiento del 80% sobre montos totales de \$29,99 millones y \$14,95 millones respectivamente; en ambos casos el demandante es la empresa VENG. No obstante, las fechas de inicio y finalización se encuentran pendientes en tanto aún no se han firmado los contratos.

Respecto de las actividades de desarrollo de proveedores de la agencia espacial, en el plano de la transferencia tecnológica esto se reduce, según lo recogido en el trabajo de campo, a lo necesario para que sus proveedores puedan llevar adelante el contrato. Respecto de otro tipo de intercambio de conocimiento con privados, la CONAE nos ha informado que, si bien no es una práctica habitual, ha realizado el mencionado acuerdo de confidencialidad con la empresa TLON, que permite que la agencia pueda participar de revisiones técnicas, además de intercambiar información u opiniones técnicas respecto del desarrollo de vehículos de acceso al espacio por parte de dicha empresa. Fuera de este caso puntual (y de la mencionada contratación de proveedores para misiones), no se han identificado

⁴⁰ El módulo de CPU se encuentra pendiente y en proceso de caducidad. Según nos informó en entrevistas personal de INVAP, como el consorcio beneficiario del FONARSEC no pudo avanzar con el desarrollo de este proyecto, finalmente fue realizado por INVAP con fondos propios.

actividades orientadas a la transferencia o licenciamiento de tecnología que contribuyan al desarrollo de otros actores espaciales o en otras industrias.

En cuanto al acceso del sector productivo a otros recursos de la CONAE, según nos fuera informado en el trabajo de campo, desde 2015 la empresa VENG ha comenzado a ocupar un rol más activo como el brazo comercial de la CONAE. Actualmente comercializa las imágenes y productos que surgen de la misión SAOCOM, donde la empresa prevé ofrecer un sendero evolutivo de soluciones basadas en información satelital, comenzando por el desarrollo de aplicaciones móviles (por ejemplo, para asistencia a la fertilización en la agricultura), avanzando hacia el análisis de datos y finalmente proveyendo soluciones integrales como la automatización de maquinaria agrícola basada en información satelital. Entre los principales acuerdos comerciales para la provisión de estos servicios se encuentran los firmados con empresas locales como FRONTEC o SUR. Otro de los servicios que ofrece VENG son las soluciones a medida en proyectos de acceso al espacio y satelitales. En el marco de servicios para proyectos de acceso al espacio se incluyen el desarrollo de tecnologías y la operación de facilidades de ensayo; y en el marco de proyectos satelitales se encuentran los servicios de integración, ensayos ambientales, calificación de componentes, y diseño y fabricación de subsistemas. También comercializa los servicios provistos por las estaciones terrenas de Córdoba y Tierra del Fuego –se trata de servicios de descarga de datos desde satélites y soporte de servicios de rastreo, telemetría y comandos (TT&C) para satélites y lanzadores–. A abril de 2020, VENG tenía un acuerdo con la firma K-SAT para la prestación recíproca de servicios, y había cotizado el *hosting* de sistemas de antenas a Spacety (China), ingeniería de infraestructura a OneWeb (Reino Unido-Estados Unidos) y otros servicios a empresas como Telespazio (Italia) y Sateliteherd (China).

Fuera del sector espacial VENG también ofrece a la industria en general productos y procesos derivados de la industria espacial. Entre los productos se encuentran mecanizados de gran porte, materiales y dispositivos energéticos y productos de material compuesto, como las estructuras tipo “sándwich”. Uno de los proyectos en esta área es el de dispositivos energéticos,⁴¹ los que permitirían sustituir importaciones intensivas en tecnología en otras industrias como la aeronáutica o la minera –de hecho, VENG está desarrollando un dispositivo de ese tipo para el sector petrolero–. Los servicios incluyen soldadura de eficiencia, metrología de precisión, tratamientos térmicos y superficiales, y ensayos.⁴² También ofrece servicios de análisis y resolución de problemas complejos de ingeniería realizando estudios de optimización, de materiales, de falla e I+D+i a pedido, entre otros, para proyectos de ingeniería aeronáutica, mecánica y electrónica. Según información provista por la CONAE, VENG se ha propuesto alcanzar en un lapso de cinco años la meta de un 25% de su facturación concentrada en nuevos clientes complementarios y/o no vinculados a la CONAE. En particular, el aprovechamiento de la capacidad instalada apunta a actuar como un factor de sustento de la empresa y como amortiguador económico por medio de la diversificación de actividades.

Dado que hasta el momento VENG no hace pública toda la información respecto de sus actividades de comercialización y transferencia (parte de la aquí expuesta fue obtenida en las entrevistas del trabajo de campo), queda por analizar más en profundidad su propia actividad y su impacto sobre la innovación y la competitividad en otros actores tanto del sector espacial como fuera de este. De lo recogido en la investigación, se intuye que, por ahora, el objetivo de las colaboraciones descriptas parece ser más de carácter comercial, mientras que la promoción de los derrames tecnológicos sobre el sector productivo tendría una relevancia secundaria.

Finalmente, al menos hasta donde sabemos a partir de investigaciones previas, CEATSA no estaba prestando servicios a terceros (pese a que esto estaba previsto en su constitución), lo cual implica que seguramente se está subutilizando el capital invertido en equipos mencionados más arriba (López *et al.*, 2017). [Según su sitio web](#) las últimas novedades publicadas sobre sus actividades fueron la realización

⁴¹ Se trata del proyecto (d) entre los financiados por el FONARSEC listados anteriormente.

⁴² Por ejemplo, VENG ejecutó ensayos para una empresa productora de respiradores aplicables a COVID-19, para su aprobación ante ANMAT.

del ciclo completo de pruebas para el ARSAT-1 y para el ARSAT-2, que vale recordar se lanzó en 2015, y respecto de los servicios que brinda a otras industrias no hay información específica que se pueda asociar a una activa promoción de estos.

6.2. Experiencias internacionales

Como vimos antes, a nivel global (y, a menor escala, también en el caso argentino) la presencia del sector privado en la industria espacial ha venido expandiéndose. En esta sección, revisamos tres experiencias (India, Japón y Corea) en las cuales las respectivas agencias espaciales promovieron iniciativas de transferencia de tecnología y desarrollo de proveedores para sus respectivos planes y misiones satelitales. El objetivo de estas iniciativas no es solo reducir la dependencia de componentes importados y generar empleos, sino también ayudar a la difusión de tecnologías de uso espacial en otros sectores de la economía, a mejorar la competitividad de las empresas proveedoras de la industria espacial, y a fomentar el surgimiento y consolidación de *startups* de base tecnológica (Nagendra y Basu, 2016; Venturini y Verbano, 2014).

India

La agencia espacial india (Indian Space Research Organisation, ISRO) es la responsable de ejecutar el programa espacial del país, y ha fomentado la participación de empresas nacionales en este, con el fin de mejorar la competitividad del sector privado (Nagendra y Basu, 2016). A través de programas de transferencia de tecnología, busca no solo generar fuentes de empleo y producir localmente los insumos que antes se importaban, sino también disminuir los costos de producción empresas privadas, tanto de las que proveen componentes y servicios al sector espacial como de las que operan en otros sectores (ISRO, 2020).

En 1975 la ISRO creó un grupo de transferencia tecnológica que actualmente, bajo la figura de Oficina de Acumulación de Capacidades, es el encargado de transferir tecnología a diferentes industrias indias. Mediante 520 acuerdos de transferencia tecnológica la ISRO lleva transferidas más de 400 tecnologías a un grupo aproximado de 235 empresas desde la década del 80. Las transferencias realizadas se pueden categorizar en tres grupos:

1. Transferencias tecnológicas con propósitos de compra, con las que se busca desarrollar una base sólida de proveedores de aquellos sistemas o componentes que se usan en los proyectos de ISRO.⁴³
2. Transferencias tecnológicas para desarrollar sistemas y aplicaciones espaciales: aquí se incluyen transferencias a organizaciones que, sin pertenecer al sector espacial, pueden hacer uso de aplicaciones espaciales, como el servicio meteorológico.
3. Transferencias tecnológicas para aplicaciones en industrias no espaciales, como por ejemplo la implementación de baterías de Li-ion para la industria automotriz.

Actualmente ISRO planea un programa para el fomento y el desarrollo de empresas espaciales (SEED), el cual todavía no cuenta con un mecanismo formal de implementación.

Las transferencias tecnológicas se llevan a cabo mediante distintos métodos, uno de los cuales es la firma acuerdos entre ISRO y las empresas a las que se otorgan licencias de uso. Dentro de la concesión de licencias existen casos especiales; por ejemplo, a las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) se les transfiere la licencia de forma gratuita. Otro método importante es la incubación: ISRO proporciona infraestructura y recursos humanos (científicos y/o ingenieros) a empresas de diferentes industrias para que realicen nuevos desarrollos; los científicos e ingenieros de ISRO reciben incentivos monetarios cuando participan en estas actividades. Además, un brazo comercial de la agencia, la New Space India

⁴³ Por ejemplo, en 2015 la agencia realizó una licitación para la producción local de celdas solares.

Limited (NSIL), brinda apoyo comercial a las industrias a las que se les transfiere tecnología, fija las tarifas de los distintos modos de transferencia, como por ejemplo el valor de las licencias, y se encarga de la elaboración y la concreción de los acuerdos de las licencias.

Japón

La Agencia Japonesa de Exploración Espacial (JAXA) se apoya fuertemente en contratistas para llevar a cabo sus misiones: aproximadamente el 95% de su presupuesto en 2012 correspondió a contratos (Shimizu, 2014). En este marco, ha realizado varios mecanismos de transferencia de tecnología a otras empresas, proyectos conjuntos de I+D y planes para impulsar la comercialización de los desarrollos obtenidos. La transferencia de tecnología por parte de JAXA a empresas se lleva adelante, por ejemplo, a través del licenciamiento de patentes de los desarrollos realizados por la agencia. Este proceso se realiza mediante una serie de seis pasos:

1. Consulta: los interesados en adquirir una patente de JAXA puede consultar a un coordinador de la agencia para obtener más información sobre la patente.
2. Envío de la solicitud de licencia.
3. Ajuste de los detalles de la licencia, por ejemplo respecto de su contenido (si es exclusiva o no), el modo de ejecución de esta y su orientación.
4. Diseño y firma del contrato.
5. Elaboración de un informe de desempeño sobre las ventas a partir de la implementación de la licencia, el cual se presenta al finalizar el período de implementación de esta o el año fiscal.
6. Pago a JAXA.

Además, JAXA alquila sus instalaciones y presta servicios de sus empleados capacitados (por ejemplo, ingenieros), mediante convocatorias que permiten que organizaciones del sector espacial y de otras industrias lleven adelante pruebas de sus desarrollos tecnológicos. Esto se materializa mediante la firma de contratos que asignan a cada empresa/universidad una fecha específica para que realicen sus pruebas. El arancel es una tarifa fija, que varía dependiendo la instalación que se desee alquilar.

En 2018 JAXA lanzó el programa JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation (J-SPARC), que busca impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías y el crecimiento del sector espacial. Este programa promueve que empresas del sector privado –desde *startups* hasta firmas de gran tamaño– y universidades se asocien con la agencia espacial japonesa y con el fin de generar proyectos de I+D para la industria espacial en Japón. Estos acuerdos buscan combinar recursos humanos, tecnologías y fondos para llevar adelante los desarrollos y su posterior comercialización en el mercado. Adicionalmente, algunas de estas innovaciones actúan como un primer proyecto de JAXA para su posterior desarrollo dentro de la agencia. Además, en 2019 se firmó un acuerdo con la empresa espacial japonesa Space BD Inc. para ofrecer servicios de lanzamiento a empresas privadas y universidades. Esto se lleva adelante incorporando satélites pequeños a cohetes de terceros con exceso de capacidad,⁴⁴ esto favorece el mejor uso de la capacidad de lanzamiento disponible a la vez que promueve la construcción de satélites en los sectores tanto privado como académico.

⁴⁴ Esta práctica, conocida como *rideshare* o *piggyback payload launch*, permite distribuir el costo del lanzamiento entre una mayor cantidad de satélites.

Corea del Sur

La agencia espacial de la República de Corea es el Korea Aerospace Research Institute (KARI), fundado en 1990. El KARI ha empleado una estrategia doble: por un lado, utilizar tecnología extranjera para poner en órbita satélites de telecomunicaciones; por otro, fomentar el desarrollo de tecnologías locales (Park, 2010). A la fecha ha publicado más de 19.000 artículos científicos y presentaciones sobre el sector aeroespacial y registrado más de 5.800 patentes.⁴⁵ En el área satelital, KARI ha desarrollado satélites LEO y realizado ensayos de un lanzador también para LEO que, tras dos intentos fallidos, en 2013 puso en el espacio exitosamente un satélite de 100 kg. Actualmente está desarrollando un vehículo de tres etapas en órbita baja, incluyendo su motor, por medio del cual se ha propuesto fomentar el ecosistema de servicios de lanzamiento.

Uno de los objetivos estratégicos del KARI es la creación de un ecosistema sustentable de la industria aeroespacial. En la década de 2010, 470 instituciones participaron en actividades conjuntas de I+D con el KARI, cifra 52 veces superior a la de la década del 90. En esta línea Park *et al.* (2010), tras analizar un programa de planificación de I+D en la industria aeroespacial entre agosto de 2006 y enero del siguiente año, sostienen que el 9% del conocimiento tecnológico obtenido mediante desarrollos en la industria aeroespacial coreana fue utilizado para ampliar y enriquecer la tecnología dentro del sector, mientras que el 91% restante se “difundió a otras industrias” (pág. 365).⁴⁶ También la subcontratación o investigación conjunta juega un rol importante para la transferencia tecnológica, ya que este tipo de relación entre KARI y las empresas promueve la transferencia directa de conocimientos y el uso de las instalaciones de KARI por parte de sus socios para los desarrollos de I+D. La capacidad instalada de la agencia puede ser utilizada no solo por ella misma, sino también por agentes externos; de hecho, la participación en el uso por parte de estos últimos ha evidenciado un incremento de 49 puntos porcentuales en las últimas tres décadas (pasando del 27% en la década del 90 al 76% en la de 2010). Según una encuesta [citada en la página oficial de KARI](#), las transferencias tecnológicas explican, en promedio, un 20,3% del incremento de los ingresos anuales de las empresas receptoras.

7. Conclusiones y recomendaciones de política

El sector espacial argentino ha transitado un sendero de creciente complejidad y grado de participación local en las misiones satelitales lanzadas desde los años 90 al presente. Si bien la complejidad de las misiones satelitales es muy difícil de medir debido a la multiplicidad de dimensiones involucradas, existen varias métricas asociadas a ella que indican que las misiones satelitales argentinas fueron evolucionando tecnológicamente en el tiempo (por ejemplo, satélites de mayor peso, mayor cantidad de instrumentos). Aunque no fue posible obtener la información necesaria para cuantificar la participación local de las misiones en términos de costos, existe una gran cantidad de datos recogidos de trabajos previos y durante el presente estudio que sugieren que aquella ha venido subiendo en los satélites LEO, algo que se expresa por ejemplo en la integración de algunos componentes locales (como paneles solares) o de instrumentos de fabricación nacional en las misiones satelitales (en las misiones GEO la participación doméstica ha estado más acotada por la naturaleza comercial estas).

Durante el trabajo de campo se han identificado desarrollos concretos que permitirían potencialmente aumentar la participación local en los futuros proyectos satelitales. En el caso del Gimbal y el dispositivo

⁴⁵ En los últimos 30 años las patentes y los registros de intelectual del KARI representan el 54% de todos los registros domésticos de la industria aeroespacial coreana.

⁴⁶ Los autores llegan a estas cifras mediante el cálculo de un índice de externalidad del flujo de conocimiento, que se basa en analizar la proporción de las citas de patentes del programa que corresponden a patentes fuera del sector. Así, valores altos de este índice indican que el conocimiento se utiliza ampliamente en otras áreas.

de geolocalización para el subsistema de AOCS, y las baterías para el subsistema de potencia, se trata de desarrollos en los que el ecosistema espacial en torno a la UNLP ocupa un rol importante y cuyas tecnologías, además, tendrían potencial de aplicación en otras industrias. En cuanto a su implementación en misiones satelitales, de las entrevistas surge que el principal limitante es la falta de oportunidad para ser probados en vuelo (es decir, en misiones satelitales). Darles la posibilidad de vuelo a estos y otros desarrollos de actores aguas arriba son decisiones que recaen en primer lugar en la CONAE y ARSAT, y en segundo lugar en el principal contratista (INVAP).

INVAP es, en tanto, el protagonista de varios de los desarrollos aquí relevados. Tal vez los proyectos más ambiciosos son el del sistema de propulsión eléctrica y el del payload flexible, cuyas necesidades de financiamiento hayan sido posiblemente uno de los motivos para que la empresa busque un socio en el extranjero (Turkish Aerospace Industries). INVAP se encuentra asimismo desarrollando dispositivos, componentes y servicios requeridos en distintos subsistemas del *bus* (AOCS, CDH&MM, potencia, propulsión) y en el propio payload. Según surge de las entrevistas, en todos los casos es mediante fondos propios, y con una participación local estimada, en caso de implementarse, que oscila entre un 60 y un 75% del valor de los respectivos componentes, llegando al 100% en el caso de un servicio como el del diseño e integración del payload.

Varios de los desarrollos identificados están asociados al financiamiento del FONARSEC en el marco del programa de desarrollo de proveedores de la ANPCyT. Respecto de los proyectos apoyados por dicha iniciativa, a diciembre de 2020 solo se habían iniciado cuatro de los siete aprobados en las convocatorias de 2016, 2017 y 2018, y del trabajo de campo se recogió información que sugiere que los resultados técnicos obtenidos en los que tuvieron inicio fueron satisfactorios. No obstante, también se ha recogido que los beneficiarios deben recurrir a otras fuentes de financiamiento para compensar los desembolsos que no son realizados en tiempo y forma, y los desfases entre el financiamiento en pesos y en dólares de los insumos y maquinarias requeridos en el contexto de las devaluaciones de los últimos años.

Respecto de estos financiamientos caben algunas reflexiones. En primer lugar, es necesaria una mejor coordinación entre el ente financiador y la institución que adoptaría estos desarrollos para que el resultado del financiamiento sea aprovechado; dado que se trata de tecnologías que se espera que se usen en misiones espaciales, y que los contratantes de esas misiones son conocidos a priori y forman parte del propio sector público, resulta llamativo que, de acuerdo con lo recogido en el trabajo de campo, algunos de los desarrollos financiados no tengan seguridad de ser utilizados en vuelo (de las entrevistas surgen distintas hipótesis en torno a este hecho, pero dado su carácter especulativo preferimos no incluirlas en el documento). De aquí surge que se requiere una mayor coordinación al momento de evaluar y elegir los proyectos, así como un mejor mecanismo de monitoreo de la marcha de aquellos no solo en lo puramente tecnológico, sino también en su fase comercial. En segundo lugar, la herramienta de financiación debería prever mecanismos que amortigüen el descalce de monedas debido a que el componente importado en insumos y maquinaria es elevado en casos de proyectos de alta tecnología como los aquí tratados. En tercer lugar, la cantidad de proyectos en llamados que han quedado sin cubrir (por ejemplo, tres de los cinco del de 2016 volvieron a convocarse en 2017, y ninguno comenzó antes de 2018), sugiere que hay espacio para realizar mejoras en el diseño de las convocatorias para el sector espacial y en su implementación; de hecho los proyectos llamados en 2018 tampoco han tenido inicio.⁴⁷ Finalmente, hay oportunidades de integración local detectadas hace ya varios años que no han conseguido aún el financiamiento necesario; tal es el caso de la falta de infraestructura en el DES de la CNEA (López *et al.*, 2017) sin la cual hoy es necesario recurrir a un proveedor externo para integrar las celdas de los paneles solares para el próximo satélite GEO de ARSAT. Pese a estas observaciones, existen indicios que sugieren que estas convocatorias han sido una herramienta efectiva para propiciar desarrollos tecnológicos y generar capacidades dentro de la cadena de valor del sector espacial, en

⁴⁷ Según información a diciembre de 2020.

particular en organizaciones que no forman parte del grupo de actores centrales de dicha cadena (ARSAT, CONAE, INVAP).

Ahora bien, en una mirada más amplia, el desarrollo de proveedores locales de bienes y servicios para la industria satelital, así como el fomento de las actividades de transferencia de tecnología tanto dentro como fuera de la cadena, requieren de decisiones de política que van más allá de la existencia de fondos para financiar proyectos específicos. Dentro de estas decisiones, se incluye, a nuestro juicio, la necesidad de crear espacios explícitos de coordinación de objetivos, estrategias y actividades entre las dos entidades que están encargadas de las misiones satelitales en Argentina: ARSAT y CONAE. Aun cuando las misiones de ambas instituciones tengan características diferentes, comparten varios componentes comunes o similares, y el contratista principal en ambos casos es INVAP.

Si a nivel gubernamental se asume como objetivo explícito el fomento de encadenamientos locales y de las actividades de transferencia (siguiendo experiencias internacionales aquí relevadas, como las de Corea del Sur, India y Japón), esto implica, entre otras cosas, generar alguna instancia de coordinación de la que participen los actores centrales del ecosistema espacial, más otros jugadores relevantes de la cadena, en donde se establezcan visiones y objetivos comunes y, consecuentemente, se definan estrategias y acciones de las que participen dichos actores. Los actores centrales operan principalmente con lógicas definidas por sus propias misiones esenciales: concretar exitosamente misiones científicas y de observación de la Tierra en el caso de CONAE, brindar eficientemente servicios de telecomunicación en el caso de ARSAT, y maximizar ingresos y acumulación de capacidades tecnológicas en el caso de INVAP. A pesar de la ausencia de un marco explícito de coordinación (recordemos que el Plan Espacial no cubre el área de telecomunicaciones), y gracias a decisiones de política, la existencia de relaciones interpersonales entre los miembros de las tres organizaciones mencionadas y la disponibilidad de capacidades locales se alcanzaron hitos tecnológicos notables en las dos últimas décadas. Sin embargo, el esquema de incentivos que gobernó este proceso llevó a que la mayor participación local se haya observado principalmente en forma de actividades internas de CONAE (y eventualmente VENG) e INVAP (ya que la contratación de otros proveedores locales en los actuales desarrollos de INVAP se limita, salvo alguna excepción, a los aspectos mecánicos), y a que la transferencia de tecnología a otros actores, tanto dentro de la cadena espacial (centros de I+D, proveedores, etcétera) como fuera de ella, resulte un tema no prioritario.

Más allá de la necesidad de crear este espacio de coordinación en busca de introducir nuevos criterios e incentivos en la lógica de toma de decisiones de los actores centrales de la cadena espacial, hay otros pasos que pueden darse para fomentar las actividades de desarrollo de proveedores y transferencia de tecnología. Por ejemplo, sería necesario generar un mapa completo de proveedores aguas arriba, con información sobre sus actividades, capacidades productivas y tecnológicas, y vínculos actuales y potenciales con otros sectores, ya que hoy esa información está fragmentada y en general se concentra en los actores centrales de la cadena. Asimismo, sería útil profundizar en el conocimiento más detallado de las experiencias internacionales aquí relevadas, u otras que pudieran también ser potencialmente interesantes, a fin de evaluar la posibilidad de adaptar algunas de las herramientas allí utilizadas para conseguir los objetivos arriba mencionados.

Por cierto, una condición necesaria para que estas u otras iniciativas tengan probabilidad de éxito es asegurar la continuidad de los planes espaciales, tanto de ARSAT como de CONAE. Mientras que en el primer caso la propia generación de flujos de ingresos por la venta de servicios debería garantizar la continuidad de las inversiones en nuevas misiones, como se previó en el anexo de Ley de Desarrollo de la Industria Satelital sancionada en 2015, en el segundo caso son los fondos provenientes del presupuesto del Estado nacional los que han venido financiando las misiones científicas y de observación de la Tierra hasta ahora lanzadas. Sin embargo, estas misiones también tienen la potencialidad de generar ingresos para la CONAE, algo que ha comenzado a ser considerado activamente dentro de la organización a partir de la decisión de usar a VENG como su brazo comercial para la venta de diversos tipos de productos y servicios. VENG también ha comenzado a generar ingresos vía actividades de

transferencia de tecnología por el uso de equipos o capacidades de la CONAE, lo cual además puede ayudar a la innovación y la competitividad de otros actores de la economía local.

En tanto, como parte de una eventual reconsideración de las estrategias y políticas hacia el sector espacial, debería evaluarse el mayor énfasis en las posibilidades de exportación. ARSAT ya exporta parte de sus servicios en tanto sus satélites tienen pisada en otros países del continente americano (la empresa privada Satellogic también tiene una fuerte orientación exportadora, derivada de su propia lógica de negocios). Pero lo que ha sido hasta ahora poco explorado por parte de los actores de la cadena espacial en Argentina es la potencialidad para exportar satélites completos y/o componentes y servicios para misiones satelitales. Como resultado de trabajos previos hemos encontrado que las exportaciones de este tipo de bienes y servicios suelen requerir de importantes esfuerzos diplomáticos (así como del ofrecimiento de condiciones de financiación favorables). El establecimiento de acuerdos de cooperación tecnológica es también otra vía que puede favorecer las exportaciones en este sector (López *et al.*, 2017). Por cierto, al menos en una primera etapa, las mayores posibilidades de exportar están en otros países de la región que tienen en desarrollo sus propios planes espaciales, pero carecen de las capacidades tecnológicas domésticas para llevarlos adelante sin colaboración externa.

Además de los acuerdos gobierno a gobierno, también existen oportunidades para exportar, por ejemplo, determinados componentes en operaciones de carácter comercial. En este sentido, el aprovechamiento de esas oportunidades requiere que esos componentes tengan experiencia en vuelo previo para dar cuenta de su calidad y confiabilidad ante potenciales clientes internacionales. Para ello se podrían articular esfuerzos a fin de que los nuevos desarrollos locales aquí identificados sean incorporados, aunque sea en forma de redundancia, en las próximas misiones satelitales, a fin de que acumulen la experiencia en vuelo requerida para conseguir negocios en terceros países.

En el trabajo también hemos intentado identificar las potencialidades de aplicación de estos nuevos desarrollos en sectores no espaciales (claro está que otros componentes locales ya utilizados en misiones satelitales también pueden tener similares oportunidades de aplicación). Las limitaciones relevadas para concretar esas potencialidades apuntan una falta de financiamiento para las adaptaciones tecnológicas requeridas (como dispositivos de geolocalización y baterías), o a la dificultad de insertarse en el mercado local o regional en otras industrias ya dominadas por los incumbentes (por ejemplo, dispositivos de geolocalización, Gimbal y la OBC). En algunos de estos casos, en las entrevistas se ha sugerido que el compra público podría ser un instrumento útil para superar esas limitaciones.

En este sentido, vale aclarar que las oportunidades de desarrollo e integración local aquí relevadas, no por ser tecnológicamente factibles, son merecedoras *per se* del apoyo financiero del sector público. Esta aclaración concierne tanto a las aplicaciones espaciales como a las comentadas en el párrafo anterior y dirigidas a otras industrias, y lo mismo sucede con otras oportunidades que emerjan a futuro. En particular, desde el punto de vista de los autores, este apoyo debe estar sujeto a rigurosas evaluaciones costo-beneficio y al análisis realista del potencial de aplicación efectiva de los desarrollos. Esto sigue lo arriba comentado respecto de la necesidad de alinear mejor la selección de proyectos que se financian con las posibilidades concretas de que los usuarios teóricos realmente estén interesados en los desarrollos resultantes. Entendemos que este tipo de evaluación debería ser parte integral de cualquier estrategia de promoción de encadenamientos que decida implementarse a futuro.

Sintetizando de algún modo el espíritu general del enfoque que estamos proponiendo en este documento, y recogiendo iniciativas que forman parte de la historia del desarrollo tecnológico argentino, creemos que es momento de intentar emular las intenciones que llevaron a la CNEA a crear en 1955 el Laboratorio (luego Departamento) de Metalurgia. Dicho Departamento no solo se aplicó a investigar problemas propios de la industria nuclear (de hecho, fue un actor central en su desarrollo tecnológico local), sino que, en la visión de sus creadores, debía tener capacidad para ayudar a resolver problemas más generales del sector productivo argentino. Fue justamente bajo esa idea que se creó en 1961 el Servicio de Asistencia Técnica a la Industria Metalúrgica (SATI). Si bien luego esta experiencia tuvo bastante menos

éxito concreto que el esperado (ver López, 2007 para una discusión), lo que queremos enfatizar aquí es que el nivel de desarrollo del sector espacial argentino amerita explorar las posibilidades de que sus actores centrales establezcan vinculaciones más efectivas y sistemáticas con otros agentes de la cadena espacial y con otros sectores productivos de la economía local. En otras palabras, creemos que vale la pena comenzar a pensar en el sector espacial no solo desde el punto de vista del logro de hitos científico-tecnológicos significativos, sino también como repositorio, generador y difusor de conocimientos y tecnologías potencialmente valiosas para el resto del aparato productivo del país.

Finalmente, quedan pendientes para futuras investigaciones algunos temas que son de gran interés para comprender las posibilidades futuras del desarrollo de la cadena espacial y sus repercusiones sobre el conjunto de la economía argentina. Uno de ellos es la creciente participación privada dentro del sector (que es parte de un movimiento que se constata también a nivel global), la cual no se limita al conocido caso de Satellogic: hay varias *startups* con planes de desarrollo e inversión concretos vinculados al área espacial. Otro tema dentro de esa lista es el estudio en profundidad de los proyectos en el área de lanzadores, cuya concreción podría lograr que Argentina se integre al muy pequeño club de países con capacidades de diseño y producción de ese tipo de vehículos, y también podría significar una potencial fuente de ingresos por la venta de servicios de lanzamiento a empresas públicas o privadas, locales o extranjeras.

Anexo 1. Personas entrevistadas para este trabajo

ARSAT

- Martín Fabris, Gerente de Servicios Espaciales
- Hugo Nahuys, Responsable de calidad de los Proyectos Arsat-1 y Arsat-2

CONAE

- Raúl Espiño, Gerente de Administración y Recursos Humanos
- Leandro Groetzner, Gerente de Coordinación
- Fernando Hisas, Gerente de Proyectos Espaciales
- Oscar López, responsable de la formulación y seguimiento de proyectos espaciales
- Daniel Rocca, Gerente de Acceso al Espacio

INVAP

- Gabriel Absi, Gerente de Negocios Espaciales

UNLP

- Marcos Actis, Director del Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA)

Anexo 2. Actores del ecosistema espacial argentino

Cuadro 2. Compilación de información sobre actores del ecosistema espacial identificados en este y otros trabajos previos		
Eslabón	Actor	Descripción
Centros de I+D	CEATSA (Centro de Ensayos de Alta Tecnología S.A.)	Propiedad de ARSAT e INVAP. Brinda servicios de ensayos de alta complejidad a las industrias: satelital, aeronáutica, electrónica, automotriz, de defensa, de energía y de bienes de capital en general. Realizó pruebas ambientales para los ARSAT 1 y 2.
	CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica)	Desarrollo de usos pacíficos de la energía nuclear.
	DES (Departamento de Energía Solar, de CNEA)	Provee celdas y paneles de energía solar para diferentes misiones satelitales. También contribuye al establecimiento de normas nacionales para sistemas de aprovechamiento de la energía solar, en conjunto con el IRAM, y presta asesoramiento a los sectores público y privado en la materia.
	CIOp (Centro de investigaciones ópticas)	Actualmente depende del CONICET y de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). Está dedicado a la investigación científica y tecnológica en el área de la fotónica, la óptica y las tecnologías de la luz.
	GEMA (Grupo de ensayos mecánicos aplicados)	Equipo de trabajo integrado por profesionales del Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Realiza transferencia tecnológica a través de ensayos, investigaciones, servicios especiales, asesoramiento y asistencia técnica a la industria y empresas.
	ASCENTIO Technologies S.A.	Se dedica a ingeniería, desarrollo de software y operación de sistemas de alta disponibilidad. Ha participado de los proyectos SAC-D/Aquarius, SAOCOM, SABIA-Mar y Tronador.
	ARSULTURA S.A.	Desarrolla tecnología aeroespacial e industrial para aplicaciones, particularmente con diseño de hardware. Entre sus desarrollos propios se encuentra el diseño de <i>enclosures</i> .
	IAR (Instituto Argentino de Radioastronomía)	Forma parte del CONICET y realiza investigaciones científicas, observaciones y desarrollos en la banda de radio. Sus clientes incluyen a la CONAE, VENG, la CNEA e INVAP.
	NOIETEC S.A.	Dedicada al diseño, los planos, manuales y procedimientos de piezas y componentes.
	Servicios Tecnológicos Integrados SRL (STI)	Se dedica a prestar servicios de ingeniería. Participó de los proyectos SAOCOM, SARE y Tronador.

Continúa en página siguiente.

Cuadro 2. Compilación de información sobre actores del ecosistema espacial identificados en este y otros trabajos previos (continuación)

Eslabón	Actor	Descripción
Fabricantes	INVAP	Genera proyectos satelitales completos y, a excepción del lanzamiento, sus tareas abarcan desde el concepto de la misión hasta la puesta en órbita del satélite y su operación. Estos servicios son contratados por CONAE y ARSAT.
	VENG	Dedicada al desarrollo de medios de acceso al espacio y servicios de lanzamiento. Tiene a cargo el desarrollo de los proyectos de la línea Tronador.
	SADE	Fabrica sistemas robóticos, componentes mecánicos de uso espacial y sistemas de I&C. También realiza montaje en sitio de estructuras metálicas, sistemas eléctricos, de control e hidráulicos. Sus principales clientes son CONAE, CNEA y Nucleoeléctrica Argentina.
	Mecánica 14	Fabrica componentes para vehículos espaciales. También participa en la actividad petrolera. Sus principales clientes son INVAP, CNEA, CONAE, VENG, Chevron, YPF y Tenaris.
	SUR Emprendimientos Tecnológicos	Se especializa en el desarrollo y aplicación de tecnologías geoespaciales y en ingeniería de software para la industria aeroespacial. Sus principales clientes son CONAE, la empresa ScanTerra y la Secretaría de Ambiente.
	LIA Aerospace	Actualmente está desarrollando dos vehículos espaciales.
	Innova Space	Fabrica satélites diseñados para otorgar prestaciones de IoT.
	TLON Space	Actualmente está desarrollando el cohete Aventura I.
	EPIC Aerospace	Construcción de lanzadores.
	Desarrollos Tecnológicos Argentina S.A. (DTA)	Se dedica al desarrollo de equipamientos de alta tecnología para la industria aeroespacial y militar. Ha participado de los proyectos SAC-D/Aquarius y SAOCOM. Sus desarrollos incluyen el controlador del Radar de Apertura Sintética, así como de <i>splitters</i> y amplificadores.

Continúa en página siguiente.

Cuadro 2. Compilación de información sobre actores del ecosistema espacial identificados en este y otros trabajos previos (continuación)

Eslabón	Actor	Descripción
Fabricantes con dedicación parcial al sector espacial	Asembli S.A.	Fabrica placas de circuito impreso.
	Metalúrgica Bognanno S.A.	Diseña y fabrica MGSE (<i>mechanical ground support equipment</i>).
	SETEAR S.A.	Fabrica maquinaria metalúrgica y equipos de uso especial.
	SIM&TEC S.A.	Realiza análisis de ensayos ambientales, y análisis y modelado de elementos de satélite.
	Taller Technologies S.A.	Desarrollo de software de complejidad media/alta.
	VATES S.A.	Desarrollo de software por producto, factoría y <i>manpower</i> .
	Vortex Design Solutions S.R.L.	Realiza cálculo y simulación numérica, y análisis de ensayos ambientales.
Operadores	ARSAT	Es el operador de bandera en Argentina. Además de operar sus satélites, provee servicios de información a clientes corporativos.
Proveedores de servicios de información	De telecomunicaciones para consumidores finales: DirecTv, Orbith, Red Intercable Satelital, RTA	Ofrecen servicios de telefonía fija, telefonía móvil, acceso a internet y televisión u otros servicios de broadcasting.
	De telecomunicaciones para clientes corporativos: ARSAT, British Telecom, CenturyLink, Claro, Netnius, Sersat, Servicio Satelital, SES, Telecom, Telefónica de Argentina, Telespazio, Tesacom, Velconet	Ofrecen servicios que se ajustan a las necesidades del cliente o la industria que los utilice, adaptando la potencia, velocidad y protocolo de transmisión de la señal a las condiciones de entorno y necesidades, del usuario emisor y del receptor.
	WCI de Argentina S.A., Ziel, R&C Comunicaciones, SP Ingeniería y German Schanz	Proveen servicios vinculados a la provisión de servicios de información sin contar con infraestructura propia. Los servicios ofrecidos varían entre el asesoramiento inicial y la instalación de antenas y equipos, y el mantenimiento y adaptación de acuerdo a la actualización en los requerimientos del cliente.
	Otros servicios satelitales: FRONTEC, Solapa 4	Las empresas mencionadas, a modo de ejemplo, proveen servicios de análisis de imágenes satelitales con aplicaciones para el sector agropecuario.
Verticalmente integrada	Satellogic	Empresa verticalmente integrada que fabrica sus satélites, los opera y provee servicios de información.

Fuente: elaboración propia con base en información recolectada en este trabajo, López *et al.* (2017), López y Pascuini (2018), López *et al.* (2019), Pascuini (2020), y trabajos no publicados de los autores

Anexo 3. Caracterización de una misión satelital por subsistemas

A continuación se presenta una reseña del esquema de los elementos componentes de una misión satelital, en línea con el presentado en la figura 3. Este anexo pretende dar un marco conceptual con las precisiones técnicas mínimas para que el presente trabajo sea autocontenido para el lector no especializado. Las consultas con personal especializado permitieron simplificar el contenido técnico de la literatura relevada, la cual se cita a los fines de que quien esté interesado pueda consultarla para obtener mayores precisiones.

Sistema

En el contexto espacial, el sistema es un conjunto de elementos que permiten llevar adelante una misión determinada, cumpliendo con las limitaciones impuestas por los plazos, costos y requerimientos técnicos de esta. El diseño del sistema tiene diferentes etapas o pasos: (a) Identificar el problema o el objetivo; (b) identificar las diferentes alternativas de solución a los problemas o al cumplimiento de objetivos; y (c) el desarrollo de los elementos funcionales (Griffin y French, 2004). Por ejemplo, en la ingeniería del sistema se toman decisiones respecto de cómo satisfacer los requerimientos de la misión, la localización sobre la cual el satélite va a operar, y el procesamiento de la información que este recabará o transmitirá. Dentro del sistema se definen los aspectos vinculados a satélite, segmento Tierra y lanzador.

Satélite

Un satélite artificial es un artefacto tecnológico que orbita alrededor de la Tierra. Los satélites se utilizan para diferentes fines, como brindar servicios de telecomunicaciones (como telefonía, televisión e internet), de observación de la Tierra (observación de los cauces de ríos y vegetación de los bosques), meteorológicos (análisis de patrones climáticos) y de posicionamiento (por ejemplo, GPS), y realizar actividades científicas con el fin de ampliar conocimientos sobre la Tierra y el espacio. La infraestructura de un satélite tiene dos subestructuras principales. Por un lado se encuentra la carga útil (payload) que comprende todos los objetos que el satélite necesita para cumplir su misión (Santomé y Santos-Reyes, 2016). Estos elementos varían según la misión de cada satélite: pueden consistir, por ejemplo, en telescopios o cámaras si el satélite es de observación, o en transpondedores si es de telecomunicaciones.

Por otro lado, se encuentra la plataforma (*bus*), que es la parte del satélite que contiene al payload y, a su vez, mantiene al satélite unido y en funcionamiento (López *et al.*, 2017). La carga útil se integra en el *bus*, procedimiento que puede ser realizado tanto por el fabricante como por una empresa externa que envíe operarios para tal fin. A pesar de que los satélites son diferentes dependiendo de su misión, sus componentes se pueden mapear a partir de un esquema por funciones o bien por subsistemas que conforman el *bus* y que son comunes en la mayoría de los satélites. Según especialistas consultados para este trabajo, estos subsistemas son: Attitude and Orbit Control System (AOCS); Command and Data Handling (CDH); potencia; propulsión; estructura e interconexión; comunicaciones; control térmico; y Ground Support Equipment (GSE). Además de dichos elementos, hay satélites que cuentan con características adicionales; por ejemplo, los satélites LEO de observación de la Tierra requieren, junto al subsistema de CDH, la función de memoria de almacenamiento donde se guarda información hasta que pueda ser transmitida a la Tierra, lo que convierte a este subsistema en el de Command, Data Handling, and Mass Memory (CDH&MM).

Segmento Tierra

El segmento Tierra es un elemento del sistema que permite el acceso al repetidor de los satélites desde las estaciones terrestres. En otras palabras, es la “conexión” de las estaciones terrestres con los satélites. Este segmento está compuesto por diversas instalaciones, usuarios y aplicaciones, lo que implica que no siempre sea homogéneo, y que sea modificado acorde a las distintas misiones satelitales para poder brindar los distintos servicios requeridos (Elbert, 2008).

Lanzador

El lanzador es un vehículo que coloca al satélite en órbita para su funcionamiento. Una vez que el satélite se encuentra en posición, pueden realizarse ajustes por medio del uso de su sistema de propulsión. Consiste en un cohete, habitualmente subdividido en varias etapas de lanzamiento. Usualmente el cohete debe ser descartado luego de un uso (Expendable Launch System), pero existen sistemas de lanzamiento que pueden ser utilizados en más de una ocasión (Reusable Launch System), ya sea en su totalidad o bien algunos de sus componentes.

Subsistemas del *bus*

1. Attitude and Orbit Control System

Este sistema de Control de Posición y Órbita se compone de elementos que actúan sobre la antena y la plataforma para realinearlas ante un movimiento generado por fuerzas espaciales que las desvíe de su posicionamiento óptimo. Tiene diferentes componentes, entre los que se destacan sensores de seguimiento, infrarrojos y controladores mecánicos (a esto último se lo denomina Gimbal). Los sensores de seguimiento captan señales de microondas desde la Tierra, las cuales se procesan y combinan para implementarse en el movimiento de los controladores mecánicos con el fin de mantener la altitud y estabilidad requerida por el satélite (Elbert, 2008). Aunque todos los satélites comerciales incluyen un sistema de control de altitud autónomo, suele requerirse una intervención manual desde el control terrestre para completar las operaciones que hacen a esta función. En el caso de los satélites de observación de la Tierra, en este subsistema suele encontrarse un dispositivo de posicionamiento que recibe señales provenientes de constelaciones de satélites como la de GPS o Glonass. En el caso de los satélites GEO, estos dispositivos son menos usuales ya que, aunque pueden contribuir en el camino desde la órbita de transferencia hasta su órbita final, una vez que el satélite se ubica en esta última ya no tienen funcionalidad.

2. Command and Data Handling and Mass Memory

La On Board Computer (OBC) es el “cerebro” de la nave espacial y es la encargada del control de la mayor parte de sus funciones, incluidos el procesamiento de datos y de comandos (Command and Data Handling, CDH). El subsistema se encuentra compuesto por una o más computadoras encargadas de permitir la activación o uso de los diferentes componentes del satélite. Dichas computadoras están integradas por un conjunto de controladores y por distintos módulos según el satélite, en algunos casos desempeñando, por ejemplo, funciones del AOCS.

Como se explicó anteriormente, existen satélites que no transmiten de manera continua a la Tierra los datos que recolectan, por lo que requieren dispositivos que desempeñen la función de Mass Memory, almacenando los datos recolectados para transmitirlos posteriormente a la Tierra (Cardarilli *et al.*, 1998);

estos dispositivos suelen identificarse en conjunto con el subsistema de CDH. En general, los satélites GEO de telecomunicaciones, al ubicarse siempre sobre el punto de la Tierra hacia y desde el cual transmiten de manera continua, no requieren Mass Memory.

3. Potencia

El subsistema de potencia es el encargado de suministrar al satélite la energía eléctrica necesaria para que pueda realizar su misión. Uno de sus componentes son los paneles solares, que cumplen la función de convertir la luz solar en energía eléctrica para alimentar tanto la plataforma como la carga útil (Elbert, 2008). Estos paneles se despliegan por medio de motores una vez que el satélite se encuentra en órbita. En satélites GEO, estos motores, además de desplegar los paneles solares, los reacomodan para que se mantengan siempre en la dirección del Sol y reciban el mismo nivel de iluminación. En cambio, en algunas misiones no geoestacionarias es el satélite mismo el que se reposiciona para que los paneles solares reciban de manera efectiva los rayos solares, por lo que no cuentan con estos motores. El despliegue y movimiento de los paneles se realiza mediante sistemas de electrónica de control. El subsistema cuenta con una Unidad de Distribución de Potencia (Power Distribution Unit), que provee potencia a los subsistemas y evita una posible sobrecarga.

Cuando el satélite no recibe energía solar de manera directa, debe acudir a un sistema de baterías para mantener activos sus componentes. Dichas baterías pueden ser construidas con diferentes elementos; en la actualidad se destacan las de ion-litio por su pequeño tamaño y alto rendimiento. Los procesos de carga y descarga de las baterías son controlados por un sistema electrónico, la Unidad de Administración de Potencia (Power Management Unit), que también realiza otras funciones vinculadas a la gestión de la energía del satélite. La carga se activa cuando los paneles solares reciben de manera directa energía del Sol, almacenando la no requerida para el funcionamiento. Cuando los paneles solares dejan de recibir luz solar, la electrónica de control de las baterías dirige la energía almacenada en las baterías hacia los componentes del satélite permitiendo que sigan funcionando. El manejo de la electrónica de control de las baterías puede ser automático o manual (desde estación terrestre) (Elbert, 2008).

4. Propulsión

A partir de que se desprenden de su lanzador, algunos satélites utilizan un subsistema de propulsión⁴⁸ con dos funciones principales. La primera es trasladarse de la órbita de transferencia a aquella en la cual debe ubicarse (etapa por demás importante en el caso de los GEO), es decir realizar las maniobras necesarias de aceleración o frenado para que la nave establezca su equilibrio con un cuerpo celeste (en el caso habitual es la Tierra). La segunda es reposicionarse para corregir desviaciones cuando ya se encuentra en su órbita ya que, aun estando en una órbita donde las fuerzas gravitatorias y centrífugas se encuentren en equilibrio, existen factores⁴⁹ que pueden generar la necesidad de correcciones en su posición. Un motivo adicional, pero poco frecuente, para utilizar el mecanismo de propulsión sería la necesidad de trasladarse a una nueva órbita. Cuando se agota la capacidad para realizar estas operaciones, se dice que su vida útil ha terminado, lo cual también puede suceder por motivos asociados al mal funcionamiento de algún otro sistema o a factores externos (como colisiones).

El funcionamiento de este subsistema, o más precisamente del mecanismo de propulsión, consiste en expulsar un chorro de gases por la tobera de escape (acción), dando lugar a una reacción en sentido opuesto al flujo de gases, la cual impulsa la nave. Es usual clasificar a los satélites según su sistema de propulsión de acuerdo a las tres posibles combinaciones entre los mecanismos utilizados en las dos

⁴⁸ El contenido de la reseña sobre el sistema de propulsión surge principalmente de López y Pascuini (2018).

⁴⁹ Incluyendo el hecho de que la Tierra no es una esfera perfecta de masa uniforme, la influencia de la Luna y el Sol, las variaciones de los campos magnéticos y las colisiones con partículas cósmicas.

etapas mencionadas (dirigirse a la órbita destino y reposicionarse): propulsión química, híbrida o eléctrica.

Mientras que la propulsión química se basa en reacciones químicas exotérmicas del propelente, la eléctrica acelera el movimiento de partículas con carga en un campo eléctrico para producir un empuje del vehículo espacial, utilizando energía almacenada por los paneles solares (Elbert, 2008). Entonces se les llama satélites de propulsión química a los que la utilizan tanto para dirigirse a su órbita como para reposicionarse una vez en ella; satélites de propulsión eléctrica o *full electric* a los que realizan lo propio con propulsión eléctrica; y, finalmente, satélites de propulsión híbrida a aquellos que se dirigen a sus órbitas con propulsión química y una vez en ellas utilizan propulsión eléctrica para reposicionarse.

Luego de varias décadas de predominio de la propulsión química en la industria, en 2015 Boeing lanzó los primeros satélites *full electric* (ABS-3A y Eutelsat 115 West B) como consecuencia de un acuerdo por cuatro satélites al que se llegó en 2012 con ABS y Satmex (comprada luego por Eutelsat). A raíz de ese acuerdo, empresas y agencias aumentaron sus inversiones en desarrollos de propulsión eléctrica. Estos sistemas tienen cuatro componentes principales: los *thrusters* (propulsores); la electrónica de control de los *thrusters* (Power Propulsion Unit); el *piping* (caños que llevan el gas); y el tanque de gas. La propulsión eléctrica permite reducir en hasta un 50% el peso húmedo del satélite, gracias al bajo peso y volumen de los propulsores eléctricos, y brindar la misma prestación. El menor peso del sistema de propulsión puede o bien compensarse aumentando la carga útil (y por tanto las prestaciones), o bien reducir el tamaño del vehículo y bajar los costos de su lanzamiento. En el caso de los satélites GEO con propulsión eléctrica, el mayor *trade off* es el tiempo que les lleva trasladarse desde la órbita de transferencia hasta la geoestacionaria: mientras que los de propulsión química lo hacen en días, los *full electric* pueden demorar de cuatro a ocho meses. Por este motivo algunos operadores siguen eligiendo los satélites híbridos. La decisión surge de evaluar el costo adicional asociado al tiempo extra que se demora en la transferencia hacia la órbita (tiempo en el que no se prestan servicios) y lo que se gana en términos de la mejor relación entre carga útil y peso total del satélite, y la reducción de costos de fabricación y lanzamiento cuando se opta por satélites más pequeños.

5. Estructura e interconexión

La estructura de un satélite consiste en su soporte físico, en el cual se ensamblan sus componentes. El diseño depende de las fases de la misión y las características ambientales que el satélite debe afrontar. Además, la estructura funciona como una protección para los circuitos electrónicos sensibles ante radiación espacial y las descargas electrostáticas (Elbert, 2008). Por su parte, el interconexión es el cableado que conecta los equipos y computadoras ubicados en el satélite.

6. Comunicaciones

Un satélite, o una constelación de satélites, se opera desde la Tierra por medio de un enlace de radiocomunicación. El personal de control del vehículo espacial puede observar el estado y el funcionamiento de todos los subsistemas que se encuentran al bordo del satélite, y controlar dispositivos activos de este mediante un equipo de comunicaciones. Adicionalmente, la posición y la orientación del satélite se determinan por medio de mediciones de distancia y ángulo que se realizan mediante señales de seguimiento enviadas por enlaces de telemetría y comando (T&C). Luego de la secuencia de lanzamiento, el enlace T&C proporciona el único medio para ubicar el satélite en su órbita inicial, transferirlo a su órbita operativa final y configurarlo para el servicio. El conjunto de dispositivos necesarios para realizar estas funciones conforma el subsistema de comunicaciones.

7. Control térmico

En el espacio, el satélite se somete a grandes fluctuaciones de temperatura, las cuales pueden influir en el rendimiento y durabilidad de sus distintas partes. Además, algunos de sus componentes activos o electrónicos deben operar a una determinada temperatura. Por ambos motivos, el satélite requiere de un sistema de gestión o control térmico que permite que la temperatura de operación sea la correcta. Existen dos tipos de control térmico: el pasivo y el activo. El primero consiste en distintos revestimientos (pintura, aluminio, oro), mantas y espejos que mantienen la temperatura en el rango adecuado para la operación de los componentes. El activo está compuesto por calentadores electrónicos que se activan dependiendo de la temperatura. Estos calentadores están unidos a superficies que permiten la dispersión del calor generado.

8. Ground Support Equipment

Comprende, en el marco de los proyectos de construcción del satélite, todos aquellos equipos que no son de vuelo, y/o dispositivos diseñados y desarrollados para establecer una interconexión directa, tanto física como funcional, con el *hardware* del satélite (Nematollahzade & Sharifi Mhoghaddam, 2014). Es decir, es un conjunto de equipos electrónicos o mecánicos que se utilizan durante la manufactura del satélite para distintas operaciones como el manejo o testeado de sus partes. Este tipo de equipamiento se divide entre el asociado a la manipulación y testeado del *bus*, y el que hace lo propio con el *payload*, y se distingue del segmento terreno en que estos equipos se utilizan en la construcción y no en la operación del satélite durante la misión.

Referencias bibliográficas

- Anselmo, L. y Pardini, C. (2019). Dimensional and Scale Analysis Applied to the Preliminary Assessment of the Environment Criticality of Large Constellations in LEO. *Acta Astronautica*, 158, pp. 121-128. DOI: 10.1016/j.actaastro.2017.09.028
- Barbaroux, P. (2016). The Metamorphosis of the World Space Economy: Investigating Global Trends and National Differences among Major Space Nations' Market Structure. *Journal of Innovation Economics & Management*, 2(20), pp. 9-35.
- Blinder, D. (2011). Tecnología misilística y sus usos duales: aproximaciones políticas entre la ciencia y las Relaciones Internacionales en el caso del V2 alemán y el Cóndor II argentino. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, agosto, pp. 1-23.
- Blinder, D. (2015). Hacia una política espacial en la Argentina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, mayo, pp. 65-89.
- Bromberg, J. L. (1999). *NASA and the Space Industry*. Johns Hopkins University Press.
- Cardarilli, G. C.; Marinucci, P.; y Salsano, A. (1998). Fault-Tolerant Solid State Mass Memory for Satellite Applications. *Technology Conference* (pp. 253-256). IEEE Instrumentation and Measurement. DOI: .10.1109/IMTC.1998.679616
- De León, P. (2018). *Historia de la actividad espacial en Argentina*. Lenguaje Claro.
- Dennerley, J. A. (2016). Emerging Space Nations and the Development of International Regulatory Regimes. *Space Policy*, 35, pp. 27-32. DOI: 10.1016/j.spacepol.2016.02.003
- Drewes, L. (2014). *El sector espacial argentino: Instituciones referentes, proveedores y desafíos*. ARSAT - Empresa Argentina de Soluciones Satelitales.
- Elbert, B. (2008). *Introduction To Satellite Communication, Third Edition*. Artech House, INC.
- ESA. (2020). *ESA's Annual Space Environment Report*. European Space Operations Centre, ESA Space Debris Office. European Space Agency. Disponible en https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf
- Griffin, M. D. y French, J. R. (2004). *Space Vehicle Design*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Hiriart, T. y Saleh, H. (2010). Observations on the Evolution of Satellite Launch Volume and Cyclicity in the Space Industry. *Space Policy*, 26(1), pp. 53-60.
- Hurtado de Mendoza, D. (2009). Periferia y fronteras tecnológicas. Energía nuclear y dictadura militar en la Argentina (1976-1983). *CTS: Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 5(13), pp. 27-64.
- Hurtado de Mendoza, D. (2012). Cultura tecnológico-política sectorial en contexto semiperiférico: el desarrollo nuclear en la Argentina (1945-1994). *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 7(21), pp. 163-192.
- ISRO (2020). *Technology Transfer*. Indian Space Research Organisation.
- López, A. (2007). *Desarrollo económico y sistema nacional de innovación en la Argentina*. Edicon.
- López, A. y Pascuini, P. (2018). Institucionalidad y cambio tecnológico en las telecomunicaciones satelitales argentinas. *Serie de Documentos de Trabajo del IIEP, N°30*. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires.

- López, A.; Pascuini, P.; y Ramos, A. (2017). Al infinito y más allá: una exploración sobre la economía del espacio en la Argentina. *Serie Documentos de Trabajo del IIEP N° 17* (pp. 1-61). Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires.
- López, A.; Pascuini, P.; y Ramos, A. (2018). Climbing the Space Technology Ladder in the South: The Case of Argentina. *Space Policy*, 46, pp. 53-63.
- López, A.; Pascuini, P.; y Ramos, A. (2019). Economía del espacio y desarrollo: el caso argentino. *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 14(40), pp. 11-133.
- Mariscotti, M. (1985). *El secreto atómico de Huemul*. Sudamericana/Planeta.
- Nagendra, N. P. y Basu, P. (2016). Demystifying Space Business in India and Issues for the Development of a Globally Competitive Private Space Industry. *Space Policy*, 36, pp. 1-11. DOI: 10.1016/j.spacepol.2016.02.006
- Nematollahzade, S. M. y Sharifi Mhoghaddam, E. (2014). Mechanical Ground Support Equipment for a GEO Satellite Communication Payload. *7th International Symposium on Telecommunications*, pp. 1054-1057.
- Obaya, M.; López, A.; y Pascuini, P. (2020). Curb Your Enthusiasm. Challenges to the Development of Lithium-Based Linkages in Argentina. *Resources Policy*, 101912.
- OECD (2012). *OECD Handbook on Measuring the Space Economy*. OECD Publishing. Disponible en <https://www.oecd.org/futures/oecdhandbookonmeasuringthespaceeconomy.htm>
- OECD. (2020). Measuring the Economic Impact of the Space Sector: Key Indicators and Options to Improve Data. Background paper for the G20 Space Economy Leaders' Meeting (Space20), OECD
- Orvola, A.; Nogueira, R.; y Chimenti, P. (2020). The Present and Future of the Space Sector: A Business Ecosystem Approach. *Space Policy*, 52. DOI: 10.1016/j.spacepol.2020.101374
- Pardini, C. y Anselmo, L. (2020). Environmental Sustainability of Large Satellite Constellations in Low Earth Orbit. *Acta Astronautica*, 170, pp. 27-36. DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.01.016
- Park, W. (2010). Recent Space Developments in South Korea. *Space Policy*, 26 (2), pp. 117-118.
- Park, Y.; Lee, S.; y Lee, S. (2010). Patent Analysis for Promoting Technology Transfer in Multi-Technology Industries: The Korean Aerospace Industry Case. *The Journal of Technology Transfer*, 37(3), pp. 355-374.
- Pascuini, P. (2020). De la acumulación de capacidades tecnológicas a la planificación geoestacionaria en la Argentina. *Ciencia y poder aéreo*, 15(2), pp. 53-67.
- Santomé, A. S. y Santos-Reyes, J. R. (2016). Diagnóstico de la situación actual de los satélites. *Humanidades, Tecnología y Ciencia del Instituto Politécnico Nacional*, 14, pp. 1-14.
- Shimizu, K. (2014). The Procurement System of the Japanese Space Agency: A Comparative Assessment. *Public Contract Law Journal*, 44(1), pp. 31-77.
- SIA (2020). *2020 State of the Satellite Industry*. Satellite Industry Association. Recuperado el 7 de diciembre de 2020 de: <https://sia.org/news-resources/state-of-the-satellite-industry-report/>
- Undseth, M.; Jolly, C.; y Olivari, M. (2020). Space Sustainability: The Economics of Space Debris in Perspective. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, 87. <https://doi.org/10.1787/a339de43-en>.
- Venturini, K. y Verbano, C. (2014). A Systematic Review of the Space Technology Transfer Literature: Research Synthesis and Emerging Gaps. *Space Policy*, 30(2), pp. 1-17.
- Viscardi, A. M. (2010). *El programa espacial argentino, 1960-2008. Un análisis de largo plazo*. Universidad Nacional de La Plata.

Weiss, S. y Ami, A. (17 de diciembre de 2014). *The Aerospace Industry*. Encyclopedia Britannica. Recuperado el 6 de diciembre de 2016 de <https://www.britannica.com/topic/aerospace-industry>

Wekerle, T.; Pessoa Filho, J. B.; Costa, L.; y Trabasso, L. G. (2017). Status and Trends of Smallsats and their Launch Vehicles – An Up-to-date Review. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 9(3), pp. 269-286. doi:10.5028/jatm.v9i3.853.

Wood, D. y Weigel, A. (2011). Building Technological Capability within Satellite Programs in Developing Countries. *Acta Astronautica*, 69(11-12), pp. 1110-1122. DOI: 10.1016/j.actaastro.2011.06.008.

Wood, D. y Weigel, A. (2012). Charting the Evolution of Satellite Programs in Developing Countries - The Space Technology Ladder. *Space Policy* 28(1), pp. 15-24. DOI: 10.1016/j.spacepol.2011.11.001.

Xu, J. y Zhang, G. (2018). Design and Transmission Performance Analysis of Satellite Constellation for Broadband LEO Constellation Satellite Communication Systems Based On High Elevation Angle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 452(4), 042092. DOI: 10.1088/1757-899X/452/4/042092.