



Maestría en Ciencia, Tecnología e Innovación
Universidad Nacional de Río Negro
Sede Andina, San Carlos de Bariloche

Tesis de Maestría

Industria Satelital en la Argentina. Análisis del caso de Satellogic (2010-2023)

Maestrando

Ing. Juan Pablo Caldo

Directora

Dra. Yamila Noely Cáceres

Co-director

Dr. Facundo Picabea

San Carlos de Bariloche, 28 de febrero de 2025

RESUMEN

En la actualidad hay muy pocos países en el mundo que dominan la industria aeroespacial en general, y satelital en particular. Ello se reduce aún más si se consideran solamente los países de la periferia o semiperiferia. Entre estos últimos se encuentra Argentina, un país que presenta problemas estructurales: altos niveles de pobreza, de desempleo y subempleo, de empleo informal, una desarticulación entre el sector productivo y el complejo científico-tecnológico, entre otros. Pero también es un país que cuenta con varias décadas de desarrollo en áreas conocimiento-intensivas, tales como el sector satelital. Si bien históricamente el Estado nacional a través de sus instituciones públicas lideró el sector (a través de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales y las empresas Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado y finalmente Argentina Satelital Sociedad Anónima), existieron iniciativas ajenas a estos grandes actores.

Aunque con menos visibilidad, universidades nacionales, escuelas, grupos de aficionados y en las últimas décadas, empresarios llevaron adelante también algunos proyectos en el espacio exterior. Esta investigación se centró en la trayectoria de una empresa, Satellogic, que se constituyó en un actor clave del nuevo paradigma que se impuso en el sector, el *New Space*. Ello permitió no solo reconstruir la historia de una compañía argentina en los primeros años del siglo XXI, sino problematizar algunos parámetros estabilizados en dicho sector industrial. También, favoreció la extracción de conclusiones en torno al comportamiento de algunos empresarios, así como la lógica imperante en la fase actual del capitalismo en Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis de maestría fue posible gracias al apoyo de diversas instituciones del Estado argentino, la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto de Estudios Sociales de Ciencia y Tecnología (IESCT) e INVAP S.E. y por supuesto de todo su personal que colaboró en forma desinteresada en mi trabajo de investigación.

En primer lugar, agradecer a la Dra. Yamila Cáceres que como mi directora de tesis me guió, aconsejó, ayudó y corrigió incansablemente y con la pasión que siente en todo lo referente al tema satelital argentino, tanto que hasta pareciera que posee además, del título de Doctora, el título de Ingeniera en Sistemas Espaciales. Siempre estuvo al tanto de mis problemas y necesidades y logró siempre ayudarme a superarlos.

En segundo lugar, también quiero agradecer al Dr. Facundo Picabea que como codirector aportó toda su vasta y gran experiencia en mi trabajo de investigación, brindando su mirada en la corrección de la misma.

En tercer lugar, agradecer a todas las personas de Satellogic, INVAP S.E., CNEA, CONICET y otros organismos y empresas que me dedicaron su tiempo para que pueda entrevistarlos y se brindaron siempre de forma dispuesta y desinteresada respondiendo todas mis preguntas.

En cuarto lugar, a mis compañeros de trabajo de CNEA tanto del Grupo de Comunicaciones Ópticas como de la Gerencia de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y mis colegas docentes de la carrera de Ingeniería en Computación de la UNRN que sería muy largo nombrar a todos, pero siempre me empujaron a que termine esta tesis de maestría aun en los momentos de desánimo.

Por último y no menos importante a mi compañera de vida Anabel y a toda mi familia y amigos que siempre me apoyaron en esta odisea con mucho amor, pero sobre todo con mucha paciencia (también sería demasiado extenso nombrarlos a todos).

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	- 3 -
AGRADECIMIENTOS.....	- 5 -
ÍNDICE GENERAL	- 7 -
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	- 11 -
INTRODUCCIÓN.....	- 17 -
1.1. El problema de investigación	- 18 -
1.2. Objetivos de la investigación.....	- 18 -
1.3. Antecedentes y estado de la cuestión	- 19 -
1.4. Apartado teórico	- 22 -
1.5. Diseño y metodología de la investigación.....	- 25 -
1.6. Estructura de la tesis	- 28 -
EL SECTOR ESPACIAL EN ARGENTINA	- 29 -
2.1. El desarrollo de cohetes y el envío de seres vivos al espacio exterior	- 29 -
2.2. Primeros satélites argentinos en órbita	- 33 -
La serie de Satélites de Aplicaciones Científicas	- 39 -
2.3. Forma estabilizada de diseñar y construir un sistema satelital en las grandes instituciones públicas.....	- 45 -
Diseño de los Satélites de Aplicaciones Científicas en CONAE e INVAP S.E.	- 48 -
Fabricación e integración de los Satélites de Aplicaciones Científicas.....	- 53 -
Ensayos y puesta en órbita de los Satélites de Aplicaciones Científicas	- 59 -
2.4. Balance del capítulo.....	- 64 -
TRAYECTORIA DE UNA EMPRESA SATELITAL DE CAPITAL PRIVADO NACIONAL	- 67 -
3.1. Una primera experiencia en software de seguridad informática	- 68 -

3.2. De un fondo de inversión al cuestionamiento de los estándares de la tecnología espacial	- 76 -
3.3. La creación de Satellogic.....	- 79 -
La generación de los primeros vínculos institucionales con INVAP S.E.	- 81 -
Del distanciamiento con INVAP S.E. a la creación de una sala limpia en Buenos Aires	- 87 -
3.4. El diseño y fabricación de los primeros nano-satélites.....	- 90 -
Problema-solución como instancia de producción de nuevas capacidades.....	- 94 -
El desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas	- 97 -
La decisión de fabricar un micro satélite: Tita	- 102 -
3.5. Balance de capítulo.....	- 106 -
SATELLOGIC: DE <i>START-UP</i> A EMPRESA CON ASENTAMIENTO GLOBAL	- 109 -
4.1. La nueva planta de Ensamblaje, Integración y Pruebas	- 110 -
4.2. La primera serie de satélites comerciales: los NUSAT	- 116 -
4.3. La constitución como corporación registrada en EE.UU.	- 126 -
Nuevos satélites NUSAT y la asociación con Space X.....	- 131 -
4.4. Desarrollo de conocimientos y capacidades tecnológicas.....	- 135 -
Capacidades tecno-productivas: un nuevo modelo de satélite: el MARK-V ...	- 136 -
Capacidades tecno-productivas: la resolución de problemas de forma creativa	- 143 -
4.5. Balance del capítulo.....	- 150 -
CONCLUSIONES FINALES	- 153 -
5.1. Desafíos y ampliación del marco tecnológico satelital	- 154 -
5.2. Desarrollo de capacidades, conocimientos y procesos de aprendizajes	- 157 -
5.3. Alcances y límites de la experiencia.....	- 161 -
BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTOS	- 163 -
Bibliografía.....	- 163 -

Audiovisuales	- 170 -
Documentos	- 170 -
Entrevistas Personales	- 171 -

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Rampa de lanzamiento del cohete Alfa Centauro	30 -
Ilustración 2: El ratón Belisario antes de su viaje	31 -
Ilustración 3: El mono Juan antes del despegue	33 -
Ilustración 4: Características del satélite LUSAT-1	35 -
Ilustración 5. Plataforma del LUSAT-1	36 -
Ilustración 6. El satélite LUSAT-1, primer satélite argentino en el espacio	36 -
Ilustración 7. Paneles solares del LUSAT-1	37 -
Ilustración 8. Radiobaliza o sistema de telemetría del LUSAT-1	38 -
Ilustración 9. LUSAT-1 en Kourou	39 -
Ilustración 10. Esquema de una misión satelital	47 -
Ilustración 11. Modelo estructural del SAC-C	54 -
Ilustración 12. Integración SAC-B en la sala limpia de INVAP S.E.	56 -
Ilustración 13. Ensayos del SAC-C	61 -
Ilustración 14. Ensayos del modelo estructural del SAC-D/Aquarius en el INPE	62 -
Ilustración 15. El SAC-D/Aquarius durante los ensayos previos al lanzamiento	63 -
Ilustración 16. El SAC-D/ durante los ensayos ambientales	64 -
Ilustración 17. Jóvenes fundadores de Core	68 -
Ilustración 18. Organigrama de Core en el año 2000	72 -
Ilustración 19. Organigrama de Core en el año 2005	75 -
Ilustración 20. Plataforma de un Cube-Sat	83 -

Ilustración 21. Dimensiones de una plataforma Cube-Sat	- 84 -
Ilustración 22. Estructura de una plataforma Cube-Sat.....	- 85 -
Ilustración 23. El capitán Beto, primer satélite lanzado	- 86 -
Ilustración 24. Primeros prototipos hechos sobre una caja de pizza	- 91 -
Ilustración 25. David Vilaseca en las instalaciones de Roseti.....	- 92 -
Ilustración 26. Emiliano colocando la antena para seguir a Beto en el radio club de Bariloche.....	- 98 -
Ilustración 27. Componentes de Manolito.....	- 100 -
Ilustración 28. Tita en la sala limpia de Scalabrini Ortiz	- 102 -
Ilustración 29. Comparación de un nanosatélite y un microsatélite.....	- 104 -
Ilustración 30. Planta de fabricación en Uruguay.....	- 112 -
Ilustración 31. Planta de fabricación en Uruguay.....	- 113 -
Ilustración 32. Buenos Aires desde la cámara hiperespectral de Milanesat, 2017.....	- 118 -
Ilustración 33. Los diez satélites lanzados en un cohete	- 124 -
Ilustración 34. Organigrama de Satellogic (2021).....	- 128 -
Ilustración 35. Satellogic cotizando en NASDAQ	- 129 -
Ilustración 36. Los primeros satélites lanzados por SpaceX	- 132 -
Ilustración 37. Subsistema de estructura del modelo MARK-V	- 136 -
Ilustración 38. Carga útil secundaria	- 138 -
Ilustración 39. Subsistema de propulsión.....	- 139 -
Ilustración 40. Buenos Aires visto por un satélite NUSAT modelo Mark-V	- 141 -

Ilustración 41. Foto de la Estación Espacial Internacional.....	- 145 -
Ilustración 42. Esquema del movimiento del satélite para la toma de la ciudad saudita The Line.....	- 147 -
Ilustración 43. Esquema de las maniobras para la toma de una foto multi targets....	- 149 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Serie satelital SAC.....	- 42 -
Tabla 2. Productos de Core y potenciales clientes	- 74 -
Tabla 3. Cuadro comparativo de características técnicas de Beto y Manolito	- 101 -
Tabla 4. Características técnicas de Tita	- 103 -
Tabla 5. Características técnicas de Fresco y Batata, dos satélites gemelos	- 116 -
Tabla 6. Serie de satélites NUSAT 1 al 18	- 120 -
Tabla 7. Cantidad de empleados de Satellogic según área y ubicación geográfica	- 130 -
Tabla 8. Serie de Satélites NUSAT 19 al 43	- 133 -
Tabla 9. Características técnicas de la cámara multiespectral.....	- 137 -
Tabla 10. Subsistema AOCS	- 139 -
Tabla 11. Subsistema de comunicaciones	- 140 -
Tabla 12. Subsistema de potencia	- 141 -
Tabla 13. Comparación técnica entre Mark-IV y Mark-V	- 142 -

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Desde 1960, Argentina impulsó el desarrollo del sector aeroespacial a través de instituciones del Estado. Por esos años lo hizo mediante la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), una institución creada por Arturo Frondizi que dependía de la Fuerza Aérea Argentina. Tres décadas más tarde, el impulso fue a través de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y las empresas Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado (INVAP S.E.) y Argentina Satelital Sociedad Anónima (ARSAT S.A.). Estos actores permitieron que el país desarrollara en los últimos veinte años varios proyectos exitosos, sobre todo en el subsector satelital.

El diseño y producción de satélites científicos y de observación de la Tierra permitieron el trabajo conjunto entre INVAP S.E., CONAE y agencias espaciales internacionales. Por su parte, los proyectos ARSAT permitieron que Argentina formara parte del grupo de países y regiones que desarrollan sus propios satélites de telecomunicaciones, entre los que se encuentran China, Estados Unidos, India, Israel, Japón, Rusia y la Unión Europea.

Los proyectos satelitales argentinos se desarrollaron en el marco del Primer Plan Nacional Espacial (1995-2006), una política pública con carácter estratégico (Decreto 330/99), revisada y actualizada en el año 2010. El Plan Espacial Nacional es una política, cuyos objetivos implican la participación directa o indirecta de sectores y organismos del gobierno, tanto nacional como provincial y municipal, entidades del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, así como también del sector privado. A su vez, a fines de 2015, el Estado diseñó un plan específico para el desarrollo de los satélites de telecomunicaciones: el Plan Satelital Geoestacionario Argentino, 2015-2035.

En paralelo a los proyectos de CONAE y ARSAT S.A., pero fuertemente influenciados por estos, en Argentina surgieron dos pequeñas empresas privadas que lanzaron con éxito nano y pico satélites: Satellogic en 2010 e Innova Space en 2019. Esta investigación, a través del estudio del caso de Satellogic permite avanzar en la comprensión de las políticas públicas y las estrategias institucionales que posibilitaron que entidades del

sector privado incursionen de forma exitosa en el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento. El caso de estudio resulta significativo, puesto que la empresa implementó una solución tecnológica alejada de los estándares de la industria.

1.1. El problema de investigación

Esta investigación abordó el diseño, fabricación y puesta en operación de una serie de nano-satélites en una empresa argentina. Para ello, se analizó la trayectoria socio-técnica de Satellogic durante el período 2010-2023. De este nudo crítico se desprendieron una serie de preguntas que guiaron toda la investigación:

- ❖ ¿Cómo una empresa privada sin conocimientos específicos en el sector desarrolló nano satélites?
- ❖ ¿Cuáles fueron las estrategias que siguió la empresa para diseñar y fabricar nano satélites?
- ❖ ¿Qué capacidades tenía la empresa Satellogic al momento de encarar el proyecto satelital? ¿Cuáles se originaron luego de dicho proyecto?
- ❖ ¿Cómo utilizó las capacidades de I+D existentes?

1.2. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Analizar las estrategias institucionales, tecnológicas y de mercado implementadas por Satellogic para diseñar y fabricar una serie de nano satélites en Argentina entre 2010 y 2023.

Los objetivos específicos son:

- 1- Analizar la trayectoria socio-técnica de la empresa argentina Satellogic que fabricó y envió al espacio una serie de nano satélites en el período 2010-2022.
- 2- Describir y analizar las capacidades de absorción e innovación de Satellogic.

- 3- Analizar la trayectoria de diseño y producción en serie de un nano satélite en la Argentina.

De forma integrada, esta investigación pretende generar conocimientos científico-tecnológicos que constituyan insumos útiles en el proceso de diseño de políticas públicas sectoriales.

1.3. Antecedentes y estado de la cuestión

En Argentina existen varios trabajos que abordan el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento en países de la semiperiferia y periferia. Se entiende a las tecnologías conocimiento-intensivas como los productos de la innovación y el desarrollo (artefactos, procesos) asociados a conocimientos científicos. Estas tecnologías, en general, proceden de unidades de I+D de institutos o centros universitarios, o de divisiones especializadas del sector privado. A diferencia de los sectores productivos intensivos en mano de obra o dedicados a la elaboración de materias primas, la biotecnología, la microelectrónica, el sector aeroespacial o el nuclear generan productos con un alto valor agregado de conocimiento específico y validado académicamente (Picabea y Cáceres, 2023).

Alberto Lalouf (2005) analizó el caso del avión a reacción, Pulqui II. Mariana Versino (2006) analizó la trayectoria de la firma INVAP S.E. desde sus inicios estrechamente asociados a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) hasta que comenzó a diseñar los primeros satélites para la CONAE. Facundo Picabea (2010) analizó a mediados del siglo XX la producción de un utilitario y una moto, el Rastrojero y la Puma, respectivamente. Diego Aguiar (2011) analizó la trayectoria de Biosidus S.A., una empresa dedicada al desarrollo de tecnologías en el campo de la biotecnología aplicada a la salud humana. Todos estos trabajos, además de analizar el desarrollo de una tecnología conocimiento-intensiva tienen en común la utilización de un abordaje teórico-metodológico que supera las visiones deterministas y lineales. La adopción de un enfoque constructivista permitió visibilizar el carácter social de cada una de las tecnologías bajo estudio, así como el carácter tecnológico de la sociedad en la que se desarrollaron.

Desde el análisis de políticas Juan Martín Quiroga (2018) y Manuel Lugones (2020) analizaron el desarrollo de radares y el sector nuclear en Argentina, respectivamente. En

este último campo también se encuentran los trabajos de Diego Hurtado (2014) en los que el autor analizó desde una mirada histórica la tecnopolítica nuclear. Por su parte, Nevía Vera (2022) centró su atención en cómo las relaciones internacionales condicionaron el dominio de tecnologías nucleares en áreas periféricas.

Estos distintos abordajes fueron utilizados para analizar el sector aeroespacial. Daniel Blinder (2009) estudió el desarrollo de la tecnología misilística, en especial cómo esta se vio condicionada por las exigencias de los países centrales. Gustavo Seijo y Javier Cantero (2012) analizaron las capacidades genéricas de INVAP S.E. que permitieron que una empresa nuclear desarrolle proyectos satelitales; Lorena Drewes (2014) presentó los actores sociales claves en el desarrollo satelital; y López, Pascuini y Ramos (2017) exploraron la economía del espacio en Argentina. Yamila Cáceres (2021; 2024) analizó las políticas públicas sectoriales y las capacidades que permitieron el desarrollo de satélites de comunicaciones para ocupar las posiciones orbitales geoestacionarias en un escenario condicionado tanto por una crisis económica interna como por numerosas restricciones internacionales. Facundo Picabea y Yamila Cáceres (2023), analizaron el diseño y producción de infraestructura y máquinas-herramientas en INVAP S.E. y el Centro Argentino Tecnológico Sociedad Anónima (CEATSA) para la realización de las misiones satelitales argentinas. Finalmente, Yamila Cáceres y Facundo Picabea (2024) analizaron los factores políticos, económicos e ideológicos que posibilitaron la desarticulación del tercer satélite de la serie ARSAT.

Además, existen estudios sobre la Industria 4.0 considerada como la Cuarta Revolución Industrial y las transformaciones que ocasiona en términos tecnológicos y de la propiedad en el sector aeroespacial. Cantrell (2015) sostiene que, gracias a los avances de la nanotecnología se lograron miniaturizar muchos de los elementos que componen los satélites, lo cual derivó en menores costos de desarrollo, tiempos más breves de producción y disminuyó el impacto económico de la puesta en órbita, uno de los costos más críticos. De esta manera, se pudieron construir constelaciones de cientos de satélites alrededor de la Tierra. Según el mismo autor, Satellogic es la primera empresa argentina de analítica geoespacial verticalmente integrada en la cadena de valor incluyendo el diseño, fabricación y operación de los satélites, así como también el procesamiento de las imágenes para ofrecer los productos y servicios de su portfolio.

En los últimos años surgieron trabajos orientados a analizar las transformaciones que tuvieron lugar en el sector espacial. Rycroff y Crosby (2013) plantean que el desarrollo espacial cobró un nuevo impulso a nivel mundial a partir de un nuevo marco denominado *New Space*. Este marco presenta diferencias respecto al desarrollo espacial tradicionalmente liderado por los actores estatales. Los autores focalizan en la existencia de un nuevo paradigma basado en la reusabilidad de los vectores con capacidad de inserción orbital, el desarrollo de micro lanzadores, la manufactura aditiva y los nuevos estándares de los pequeños satélites. Según Rick Tumlinson, cofundador de Space Frontier Foundation y acuñador del término *New Space*, los pilares fundamentales de este nuevo paradigma son la búsqueda de costos bajos, el desarrollo de nuevas tecnologías y la integración de otras ya existentes, así como el surgimiento de compañías orientadas a la creación de nuevos mercados de consumo, tales como el turismo espacial (Space Frontier Foundation, s/f). Estas transformaciones posibilitaron no solo la reducción de los costos necesarios para el desarrollo de un proyecto satelital, sino la consecuente ampliación de los actores habilitados para participar de estos proyectos.

Kulu (2021) señala que la actividad espacial, a partir de estas transformaciones, dejó de ser una actividad asociada solamente a las telecomunicaciones, la investigación y la observación para pasar a ser un objeto de interés de otros sectores, tales como la industria farmacéutica, el turismo y la explotación de recursos naturales. Además, plantea que la actividad no solo fue parte de la agenda pública, sino que se constituyó en parte integrante de las agendas de algunas compañías privadas como SpaceX¹ y Blue Origin².

Maximiliano Ozono (2022) presentó en el marco de la Dirección Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación perteneciente a la Subsecretaría de Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación un informe sobre los proyectos espaciales vigentes a nivel internacional y nacional en el siglo XXI y estableció las características principales del nuevo paradigma espacial. En el mismo consideró de forma incipiente cinco estudios de

¹ Space X es una empresa con sede en California, EE.UU., fundada en 2002 por Elon Musk. Se dedica principalmente a la fabricación aeroespacial y la prestación de servicios de transporte espacial. Entre sus principales proyectos se destacan varios vehículos de lanzamiento, la constelación de satélites *Starlink*, la nave de carga Dragon que llevó astronautas a la Estación Espacial Internacional.

² Blue Origin es una empresa de origen estadounidense fundada en el año 2000 por Jeff Bezos, también fundador de Amazon. Entre los objetivos de la compañía se encuentran los vuelos suborbitales y orbitales, tanto para misiones oficiales de Estados Unidos, como para vuelos privados. La empresa se dedica principalmente a desarrollar cohetes reutilizables mediante una tecnología de propulsión que posibilita los descensos controlados de los mismos.

casos locales: DIY-Satellite, Fansat, Innova Space, Lia Aerospace y Tlon Space. Dicho informe si bien no realizó un análisis de Satellogic, plantea que esta empresa es representativa del *New Space* y, además, que es la única integrada verticalmente en el país. María Lattenero (2021) analizó la inserción internacional de las constelaciones de satélites para la observación de la Tierra en el mercado internacional. Para ello tomó como caso de estudio la firma Satellogic, por lo que su trabajo se constituyó en un antecedente fundamental de la presente investigación. La autora explica que la integración vertical de Satellogic es una ventaja competitiva que le permite reducir costos intermedios, controlar la calidad y escalar la producción posicionándose al frente de la competencia en la relación precio-calidad.

De acuerdo a esta somera revisión bibliográfica, esta tesis cuyo objeto de estudio es el análisis de la trayectoria y los procesos productivos de Satellogic constituye un complemento a los estudios citados anteriormente. En función de ello, se sostiene que el caso de estudio seleccionado, desde la perspectiva teórica construida, representa un avance en la comprensión general de la inserción privada en un área estratégica y conocimiento-intensiva.

1.4. Apartado teórico

Para llevar adelante los objetivos que guían esta investigación se utilizó una triangulación de herramientas conceptuales provenientes de dos enfoques disciplinarios: la sociología de la tecnología en su vertiente constructivista y la economía del cambio tecnológico. Esta triangulación teórico-metodológica permitió superar las restricciones monodisciplinarias y abordar desde distintas dimensiones al objeto de esta investigación: la trayectoria tecno-productiva de Satellogic como un caso de producción de tecnologías conocimiento-intensivas en una empresa privada ubicada en un país subdesarrollado y semiperiférico.

Primero se procedió a la reconstrucción de la trayectoria socio-técnica de la firma, incluso de sus antecedentes. Una *trayectoria socio-técnica* comprende un proceso de co-construcción de productos, procesos productivos y organizaciones, instituciones, relaciones usuario-productor, relaciones problema-solución, procesos de construcción de

funcionamiento de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor (firma, institución de I+D, universidades, etc.), o, asimismo, de un marco tecnológico determinado (Bijker, 1995). Este concepto –de naturaleza eminentemente diacrónica– permitió ordenar las relaciones causales entre distintos elementos heterogéneos en secuencias temporales, tomando como punto de partida un elemento socio-técnico en particular (por ejemplo, una tecnología –artefacto, proceso, organización determinada– una firma, un grupo de I+D), siendo en este caso la firma Satellogic.

Satellogic desarrolló satélites bajo estándares que no son los estabilizados en la industria. En ese sentido, resultó clave la consideración del concepto *marco tecnológico*. Se entiende por esta categoría a una combinación de teorías, conocimientos tácitos y prácticas empleadas por una comunidad para la resolución “normal” de sus problemas. El marco tecnológico condiciona no solo el modo en que los problemas se resuelven, sino en el reconocimiento de los mismos. Los miembros de los grupos sociales mantienen distintos grados de inclusión respecto al marco tecnológico expresado en la descripción de sus metas, estrategias de resolución de problemas, habilidades experimentales, entrenamiento teórico, entre otras. Los miembros pueden cambiar el grado de inclusión a lo largo del tiempo, al tiempo que presentan distintos niveles de inclusión en varios marcos tecnológicos (Bijker, 1987).

Para explicar cómo una empresa privada por fuera del marco tecnológico hegemónico en el sector satelital logró desarrollar nano satélites fue necesario analizar las capacidades y conocimientos de la firma. Por lo tanto, se consideraron las nociones de *capacidades tecnológicas de absorción e innovación*, en tanto conocimiento y habilidades necesarias para adquirir, usar, adaptar y crear tecnología (Cohen y Levinthal, 1989).

Asimismo, estas nociones se ampliaron con la clasificación propuesta por Lall (1992) en cuanto a las capacidades tecnológicas que tienen las empresas. Las capacidades tecnológicas de *inversión* constituyen habilidades que permiten identificar y obtener las tecnologías necesarias para diseñar, construir y equipar una nueva instalación o nuevo proyecto. Las capacidades de *producción* son las habilidades que contemplan el control de calidad, la operación y mantenimiento, la adaptación y mejora de una tecnología comprada, la investigación, el diseño y la innovación de tecnologías propias. Y finalmente, las capacidades de *vinculación* comprenden las habilidades para intercambiar

información, tecnologías y conocimientos entre empresas, proveedores, consultores, subcontratistas, usuarios, entre otros.

Para complementar la noción de capacidades se consideraron las *habilidades blandas* entendidas como atributos personales que permiten que el ser humano actúe efectivamente con su entorno social. Este tipo de habilidades son “en esencia componentes estratégicos que mejoran el desempeño laboral, el desarrollo profesional y la cohesión social” (De la Ossa, 2022: 2). Las habilidades blandas se agrupan en tres categorías: 1- habilidades interpersonales, las cuales incluyen la comunicación asertiva, la capacidad de negociación, la confianza, la cooperación y la empatía; 2- habilidades cognitivas, agrupan la habilidad para la solución de problemas, para la toma de decisiones, el pensamiento crítico, la autoevaluación, el análisis y la comprensión de las consecuencias; y 3- habilidades para el control emocional o habilidades para el manejo y reconocimiento emocional ante situaciones de estrés y sentimientos intensos. Cabe agregar que estas tres categorías no trabajan de forma independiente, sino que generalmente se interrelacionan.

Además de las capacidades tecnológicas, en esta investigación se consideraron los conocimientos genéricos, en tanto instrumentos de naturaleza cognitiva que, atraviesan las fronteras de cierta especificidad disciplinar o tecno-productiva y son aplicados en diversos campos científicos y tecnológicos. El concepto deriva de la noción de instrumentos genéricos de Shinn (2000).

Se entiende por resignificación de tecnologías a la operación de reutilización creativa de las tecnologías previamente disponibles. Las operaciones de resignificación de tecnología no son meras alteraciones “mecánicas” de una tecnología, sino una reasignación de sentido de esa tecnología y de su medio de aplicación. Resignificar tecnologías permite refuncionalizar conocimientos, artefactos y sistemas (Thomas, 2006).

También, en esta investigación se utilizaron las nociones de conocimiento tácito y explícito (Collins, 2010). Este autor destaca que, a pesar de su naturaleza difícil de codificar, el conocimiento tácito juega un papel crucial en el desarrollo de nuevas ideas y en la toma de decisiones complejas. La compartición de este tipo de conocimiento tiene lugar principalmente mediante el aprendizaje informal y la observación. Además, señala que, a pesar de que el conocimiento explícito es fundamental en muchas áreas de las

organizaciones, su efectividad depende de que esté correctamente contextualizado y aplicado dentro de situaciones prácticas, las cuales a menudo requieren el conocimiento tácito. Collins subraya que el conocimiento tácito y explícito no son categorías mutuamente excluyentes, sino que se interrelacionan y se complementan. El conocimiento tácito puede ser la base para la creación de conocimiento explícito, mientras que el conocimiento explícito puede ayudar a estructurar y hacer accesible el conocimiento tácito.

Este proceso de conversión entre ambos tipos de conocimiento se manifiesta en lo que se conoce como el modelo SECI (Socialización, Externalización, Combinación e Internalización) propuesto por Nonaka y Takeuchi (1995). Collins discute cómo este modelo ilustra la manera en que las organizaciones pueden gestionar el flujo de conocimiento entre sus miembros, aprovechando tanto lo tácito como lo explícito. Para Collins, la clave en la gestión del conocimiento es crear un ambiente que permita la interacción constante entre ambos tipos de conocimiento. Las organizaciones deben ser conscientes de que el conocimiento tácito, aunque difícil de formalizar, tiene un valor inmenso que puede contribuir a la innovación, la mejora continua y el desarrollo organizacional.

1.5. Diseño y metodología de la investigación

La principal hipótesis de esta investigación es que el diseño y la producción de satélites en la pyme argentina Satellogic, a diferencia de otros proyectos satelitales, derivó mayormente de las iniciativas empresarias individuales y la búsqueda de negocios rentables, antes que de la promoción de políticas públicas explícitas. Para sostener esta idea, y en relación al marco teórico propuesto, se llevó adelante una investigación principalmente de tipo cualitativo a partir del método de estudio de caso (Yin, 1994). Este tipo de método exige la triangulación de distintas técnicas metodológicas -análisis documental y realización de entrevistas semiestructuradas- con el fin de analizar desde múltiples dimensiones el objeto de estudio.

Para la reconstrucción de la trayectoria socio-técnica de Satellogic se desplegaron tareas de relevamiento y sistematización de fuentes escritas y orales (Salomón Tarquini, 2019),

las cuales se complementaron con la información relevada mediante entrevistas semiestructuradas (Valles, 1999) a ingenieros, técnicos y trabajadores, así como tomadores de decisión y empresarios del sector satelital en general.

Se analizó la información recopilada en las entrevistas realizadas por el grupo de trabajo del Instituto de Estudios Sociales de Ciencia y Tecnología (IESCT) referidas al sector satelital, debido a que contaban con información valiosa sobre los métodos de diseño, fabricación, integración, lanzamiento y operación de los satélites fabricados por INVAP S.E. a requerimiento de CONAE.

Para la realización de entrevistas personales propias se utilizó el instrumento de registro diseñado por el equipo del IESCT, al cual se le agregaron algunas dimensiones que se adecuaban a los objetivos de la presente investigación. En orden cronológico se entrevistó a uno de los fundadores de Core Security (la primera empresa exitosa fundada por Emiliano Kargieman) para profundizar en el proceso de creación de una empresa de tecnología en Argentina que luego vendió servicios al mercado estadounidense. Posteriormente, se prosiguió con entrevistas a personal jerárquico y técnico de INVAP S.E. que participó en la incubación de Satellogic. El trabajo continuó mediante entrevistas a científicos de distintas instituciones del complejo CyT nacional que participaron en experimentos que fueron incorporados en los satélites de Satellogic. Finalmente se entrevistó a personal que trabajó y trabaja actualmente en la empresa para poder reconstruir la trayectoria socio-técnica de la misma, pasando de ser una pequeña empresa de diez personas hasta convertirse en una empresa global que cuenta con doscientos cincuenta empleados alrededor del mundo.

A lo largo del proceso de investigación se registraron dos problemas respecto al acceso para entrevistar personal de Satellogic. Por un lado, algunos contactos no respondieron los intentos de comunicaciones o discontinuaron las mismas ante el detalle de las consultas. Por otro lado, aquellos con los cuales se pudo establecer un mínimo contacto, fueron reticentes a brindar información por más que, desde un inicio y en varias oportunidades se planteó la firma de acuerdos de confidencialidad, puesto que no era intención de la presente investigación conocer las patentes o detalles técnicos de los satélites, sino comprender en forma estilizada el proceso de diseño, fabricación, lanzamiento y operación de dicha tecnología. Debido a esto, para resolver el primero de

los problemas se decidió acceder a tales voces a través de los medios escritos y audiovisuales disponibles. Sin embargo, dichas fuentes no fueron suficientes para analizar el proceso de diseño y fabricación en serie de los satélites, las formas de trabajo, las capacidades prácticas y organizativas, por lo que se decidió limitar el alcance de dicho objetivo. Para resolver el segundo de los problemas y como garantía a quienes prestaron parte de su tiempo, se decidió anonimizar todas las fuentes entrevistadas, incluso la de aquellos que no pertenecen a Satellogic.

Los problemas señalados dan cuenta de la asimetría existente en el acceso a la información de empresas públicas y empresas privadas. Mientras las primeras, en especial INVAP S.E., a través de sus ingenieros, estuvo predispuesta a brindar información relevante para esta investigación, Satellogic tuvo excesivos resguardos. Claramente, nociones como la propiedad intelectual y la confidencialidad son aspectos que condicionaron el acceso a la empresa.

La triangulación de las voces de los actores (tanto de Satellogic como de otras firmas del sector satelital en Argentina) en una matriz de datos resultaron claves para analizar la marginalidad de los ingenieros de Satellogic respecto del marco tecnológico satelital y para analizar las capacidades tecno-productivas y de gestión con que contaba la firma. Asimismo, mediante las entrevistas se pudo acceder a las múltiples estrategias de producción y comercialización a lo largo del proceso de diseño y fabricación del satélite hasta la comercialización de los datos obtenidos. Las dimensiones de la matriz se construyeron a partir de las preguntas que estructuraban el instrumento de registro.

Las técnicas de análisis documental y entrevistas en profundidad apuntaron a recoger información principalmente para abordar los siguientes aspectos:

- Análisis de la trayectoria económica y tecno-productiva (evolución de la empresa; estrategias institucionales; estrategias de negocios; mecanismos de financiación, etc.).
- Análisis de los artefactos satelitales de la empresa Satellogic (tanto en los aspectos estratégicos como en los contenidos tecnológicos, métodos, análisis de mercado, capacidades tecnológicas acumuladas, interacción con proveedores, entre otros).
- Balance de la trayectoria socio-técnica de Satellogic.

1.6. Estructura de la tesis

La tesis se encuentra dividida en cinco capítulos, siendo la presente introducción el primero de ellos. En el capítulo 2 se analizó el desarrollo aeroespacial de la Argentina desde sus inicios hasta el año 2010. Primero, se analizaron los actores que intervinieron en su derrotero, tales como la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) luego transformada en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y los grupos de aficionados y universidades nacionales interesados en las cuestiones espaciales. Luego, se analizó el plan espacial nacional argentino, así como los conocimientos y capacidades que el mismo propició en todo el sistema aeroespacial argentino. En la sección final del capítulo se analizó en forma estilizada los procesos de diseño y construcción de satélites en las instituciones que lideran el sector en la Argentina.

En el capítulo 3 se reconstruyó la experiencia empresarial de Emiliano Kargieman y Gerardo Richarte, primero mediante la creación de una compañía de Seguridad Informática, y luego a través de la creación de otras experiencias, entre las cuales se destaca la creación de un fondo de inversión para startups en Argentina. Se reconstruyeron los inicios de Satellogic y se investigó cómo y para qué estos empresarios informáticos se insertaron en la industria satelital, pero con nociones que desafiaban los estándares del sector. Finalmente, se analizaron los procesos de diseño, fabricación de los primeros nano satélites de Satellogic, los cuales presentaban diferenciaciones respecto del quehacer de INVAP S.E., empresa hasta entonces encargada del desarrollo de los satélites argentinos.

En el capítulo 4 se analizó el proceso que derivó en la conversión de Satellogic en una corporación con asiento global. Además, se analizaron los procesos que permitieron el desarrollo de satélites en series cortas, así como las innovaciones que se incorporaron en los distintos modelos. Para ello, resultó clave considerar las capacidades tecnológicas y de gestión con las que contaba la empresa.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentaron las conclusiones generales de esta investigación en referencia tanto al marco teórico-metodológico construido, así como respecto al caso de estudio abordado.

Capítulo 2

EL SECTOR ESPACIAL EN ARGENTINA

Finalizada la Segunda Guerra Mundial comenzó la denominada Guerra Fría entre Estados Unidos de América (EE.UU.) y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Una de las aristas de esta guerra fue la carrera por el dominio del espacio que comenzó el 4 de octubre de 1957 con el lanzamiento y la correcta operación del Sputnik (URSS), primer satélite artificial de la historia de la humanidad. Meses más tarde, EE.UU. lanzó y operó el Explorer 1 (Torrera, 2017).

Argentina no era ajena a los avances realizados en el campo espacial. El 28 de enero de 1960 el Estado creó la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), una institución que dependía de la Fuerza Aérea Argentina. Este organismo tenía como función realizar investigaciones espaciales en colaboración con agencias y centros de investigación extranjeros (Decreto PEN N° 1.164/60).

La CNIE junto a universidades nacionales e institutos del exterior llevó adelante investigaciones sobre estructuras, motores cohete, sistemas de propulsión, mecánica de fluidos, inyectores, técnicas de telemetría, aerodinámica, electrónica, señales de radiofrecuencia de satélites, circuitos impresos y transistorizados, entre otros. Estas investigaciones permitieron a los ingenieros acumular conocimientos teórico-prácticos y capacidades tecnológicas para encarar el diseño y la producción local de vectores de lanzamiento y el diseño de satélites de investigación (Cáceres, 2021).

2.1. El desarrollo de cohetes y el envío de seres vivos al espacio exterior

La primera familia de cohetes sonda que desarrolló el Instituto de Investigaciones Aeronáuticas y Espaciales (IIAE) de la CNIE fue la familia de cohetes Centauro: el Alfa Centauro (de una etapa), el Beta Centauro (de dos etapas) y el Gamma Centauro (de dos etapas). Esta serie tenía como combustible sólido uno del tipo doble base. El 2 de febrero de 1961 se lanzó el cohete Alfa Centauro desde una base improvisada cerca de la localidad

de Santo Tomás en Pampa de Achala, Provincia de Córdoba, alcanzando una altura de 2.000 metros (Parczewski, 2005).

Ilustración 1: Rampa de lanzamiento del cohete Alfa Centauro



Fuente: Parczewski, 2005

En 1963, el Dr. Wernher Von Braun, director del Centro Espacial Marshall de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés), visitó las instalaciones de la CNIE en Córdoba. Debido a la continuidad de las misiones de cohetes argentinos, este tenía interés en establecer proyectos conjuntos. En dicho escenario, algunos militares aeronáuticos argentinos empezaron a pensar que los cohetes locales podían ser utilizados para poner en órbita un satélite artificial nacional como también iniciar misiones con seres vivos.

Ilustración 2: El ratón Belisario antes de su viaje



Fuente: Infobae, 2020

A mediados de la década de 1960, EE.UU. y la URSS competían por la puesta en órbita de seres humanos, hecho logrado finalmente en 1968 con el lanzamiento de la cápsula

Vostok 1 que llevaba al cosmonauta Yuri Gagarin. Argentina seguía de cerca dicha carrera. Si bien el país no contaba con la posibilidad de enviar seres humanos al espacio exterior, sí tenía las capacidades de enviar seres vivos. El 11 de abril de 1967, el Instituto de Investigaciones Aeronáuticas y Espaciales (IIAE) de la CNIE realizó el lanzamiento del cohete Yarará que llevaba una cápsula acoplada en la que viajaba un ratón vivo llamado “Belisario”. El cohete alcanzó una aceleración inicial de 20 G y una altura de 2300 metros. Cincuenta minutos más tarde del aterrizaje de la cápsula, los responsables de la misión rescataron al ratón sano y salvo. Durante el vuelo, los investigadores registraron la respiración, el ritmo cardíaco y también las temperaturas internas y externas a las que fue sometido el ratón. Tras la recuperación, los investigadores descubrieron que el mismo presentaba una reducción de peso de 8 gramos (Infobae, 2020).

El 16 de julio de 1969, el cohete Saturno V con tres astronautas a bordo despegó de Cabo Cañaveral (Florida, EE.UU.). Cuatro días después, Neil Armstrong y Buzz Aldrin alunizaron a bordo del Módulo Eagle, mientras que Michael Collins mantuvo la nave Columbia en órbita (Apolo 11, 2023). Ese mismo año, el IIAE perfeccionaba los cohetes para poner satélites en órbita. Los ingenieros argentinos seguían las innovaciones en el subsector de acceso al espacio y pretendían, pese a la posición semiperiférica del país, avanzar en el dominio de estas tecnologías.

El experimento al que fue sometido Belisario “permitió poner a punto los dispositivos sensores e inmediatamente después queríamos ir a algo mucho más importante: un hombre pequeño, un mono”, aseguró uno de los científicos que participó de la misión (Infobae, 2020). Con esos objetivos y un plan ordenado, Gendarmería Nacional capturó un mono caí en Misiones que pesaba 1,4 kilogramos y medía 30 centímetros, el cual fue llamado Juan.

El 23 de diciembre de 1969 desde la localidad de Chamental (La Rioja) despegó el Canopus II con Juan en su interior, un cohete sonda de unos cuatro metros de largo y 50 kilos de carga útil desarrollado en Argentina que alcanzó 87 kilómetros de altura. El viaje del mono Juan fue considerado como un hito para Argentina, ya que, para ese entonces solo EE.UU., la URSS y Francia habían enviado seres vivos al espacio (Infobae, 2020).

Ilustración 3: El mono Juan antes del despegue

Fuente: Clarín, 2019

Si bien durante la década de 1970 e inicios de 1980 la actividad espacial argentina estuvo centrada principalmente en el desarrollo de lanzadores de diseño y fabricación local, la CNIE tenía el objetivo de poner en órbita satélites artificiales con recursos nacionales (Cáceres, 2021).

2.2. Primeros satélites argentinos en órbita

A inicios de la década de 1980, la CNIE y la NASA definieron un proyecto para producir un satélite con fines astronómicos denominado SAC-1, en el que también participó el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE). El IAFE era el usuario principal por lo que era el encargado de definir los requerimientos principales del satélite, la CNIE se ocupaba de diseñar y fabricar la plataforma y algunos equipos de la carga útil, mientras la NASA proveía otros equipos de la carga útil y el servicio de lanzamiento.

El IAFE y la CNIE carecían de las capacidades para construir el satélite por lo que, en conjunto con una delegación de la NASA, visitaron las instalaciones de INVAP S.E. Por

entonces, la empresa estaba dedicada a la fabricación de proyectos nucleares. Sin embargo, la idea de participar en una misión satelital resultó significativa para Conrado Varotto, gerente general de la compañía. Este propuso la construcción de una sala limpia para la fabricación e integración de satélites en las instalaciones que INVAP S.E. tenía en Villa Golf, Bariloche (Cáceres, 2021).

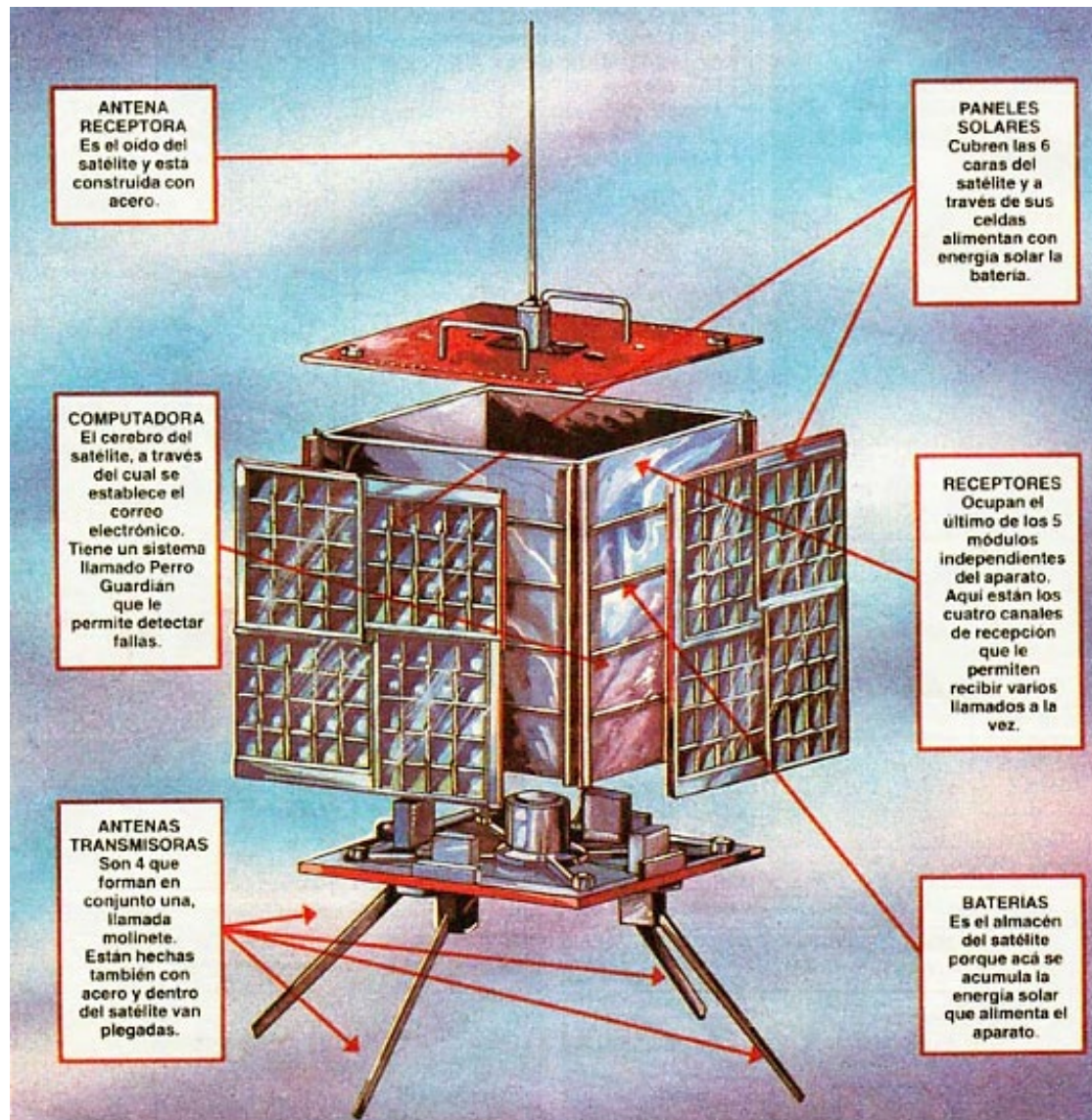
En paralelo al avance de las obras en INVAP S.E., los ingenieros de la CNIE, el IAFE y la NASA definieron la ingeniería básica y de detalle del SAC-1 (Sierra, 1989). Para el diseño de la carga útil, la CNIE contó con la colaboración de la Amateur Satellite Argentina (AMSAT-AR, por sus siglas en inglés), una asociación civil sin fines de lucro dedicada a la construcción y lanzamiento de satélites de radioaficionados. Esta entidad constituía una subsidiaria local de la organización mundial de radioaficionados por satélite, sin embargo, las colaboraciones entre ambas instituciones no se redujeron al SAC-1, sino que posibilitaron otros proyectos espaciales (Domínguez, 1991).

En 1987, Carlos Huertas, el ingeniero Raúl Fernández, el ingeniero Hugo Lorente, Alfredo Fraire, Arturo Carou y otros radioaficionados nucleados en AMSAT-AR iniciaron un proyecto con el objetivo de poner en órbita un pequeño satélite de comunicaciones, posteriormente denominado LUSAT-1. Para ello contaron con la colaboración de la CNIE y de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Por entonces, estos actores planificaron que el proyecto tendría una duración de dos años, lo que se materializó a partir de la inclusión de AMSAT-USA.

La filial estadounidense de AMSAT invitó a su par argentina a que uno de los participantes en el proyecto satelital visitara las instalaciones de su laboratorio en Boulder, Colorado. AMSAT-AR eligió a un joven estudiante de la UNLP, José Machao. Este viajó a los EE.UU. para investigar y seguir el proceso de testeo de los distintos dispositivos a utilizarse en el lanzamiento (Domínguez, 1991).

El LUSAT-1 tuvo un costo de U\$S 120.000 y dos objetivos técnicos: “proveer un banco de pruebas para la evaluación y comprobación de tecnologías de *hardware* y *software* a ser empleadas y proveer una utilización avanzada del espectro adjudicado por la Secretaría de Comunicaciones de la Argentina y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a los radioaficionados” (Huertas y García, 1989; AMSAT-AR, 1989).

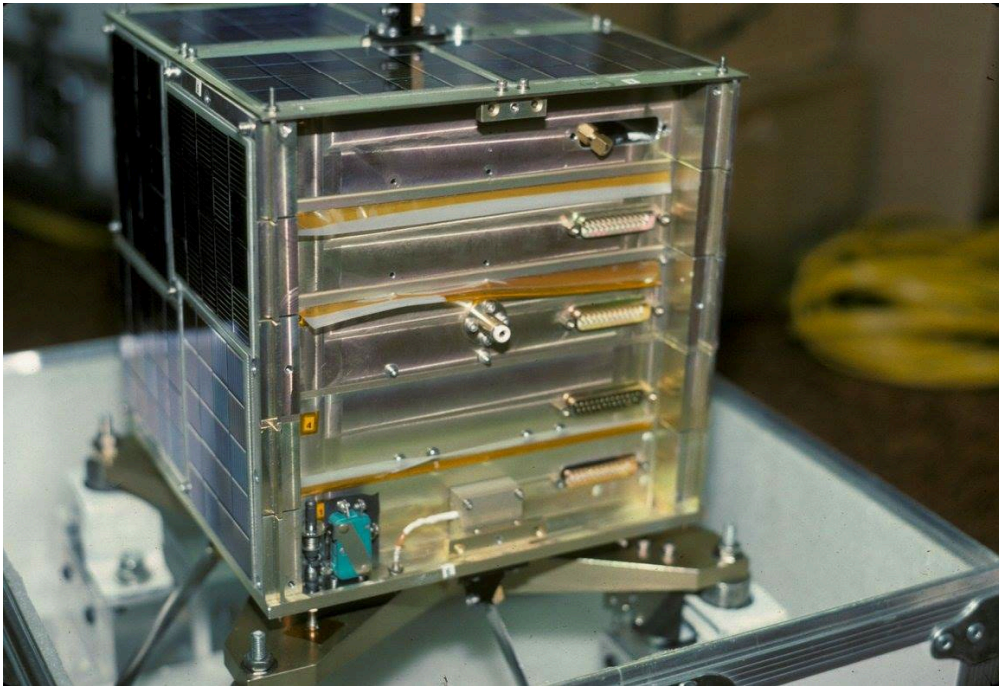
Ilustración 4: Características del satélite LUSAT-1



Fuente: Ealuro, 2015

El LUSAT-1 tenía una estructura cúbica de 23 centímetros de lado construida principalmente en aluminio que fue provisto por la empresa nacional Aluar. Tenía una masa de 7,5 kilogramos y se ubicó en una órbita próxima a los 800 kilómetros de altura (Domínguez, 1991). Contaba con seis paneles solares que le permitían absorber la energía solar, la cual era almacenada en ocho baterías de níquel-cadmio de tipo comercial (Ealuro, 2015). Además, tenía una serie de antenas tanto para la transmisión como para la recepción de señales. La primera tenía 70 centímetros de longitud, mientras la segunda tenía dos metros.

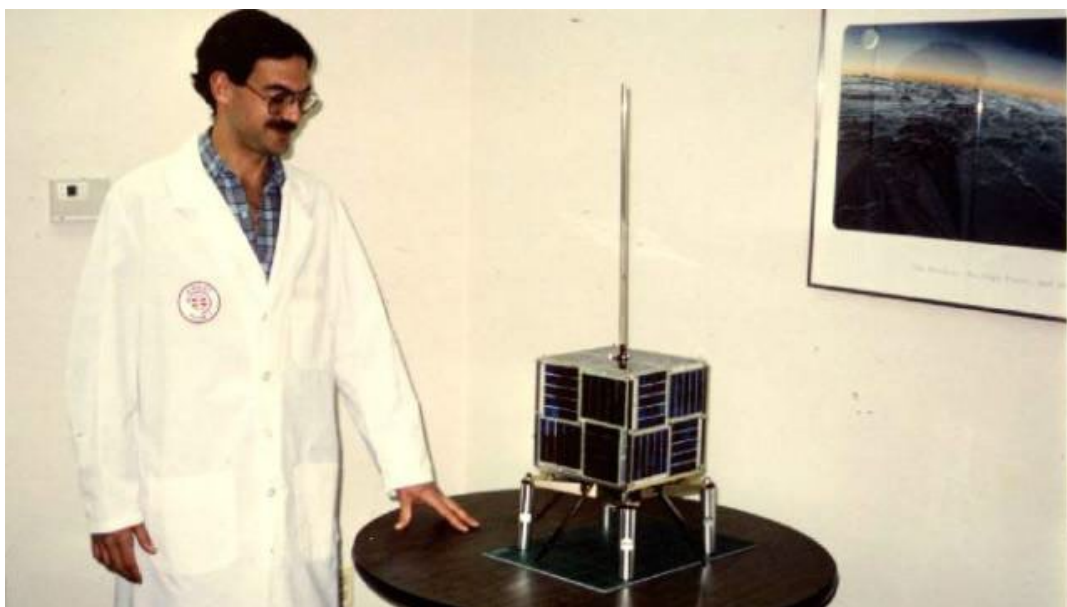
Ilustración 5. Plataforma del LUSAT-1



Fuente: Mayoraz, 2015

La plataforma del satélite estaba construida para soportar las condiciones del espacio exterior, tanto las variaciones de temperatura como las radiaciones del Sol y el reflejo de la Tierra. Se estimaba que su vida útil sería aproximadamente de cinco o seis años (Domínguez, 1991).

Ilustración 6. El satélite LUSAT-1, primer satélite argentino en el espacio

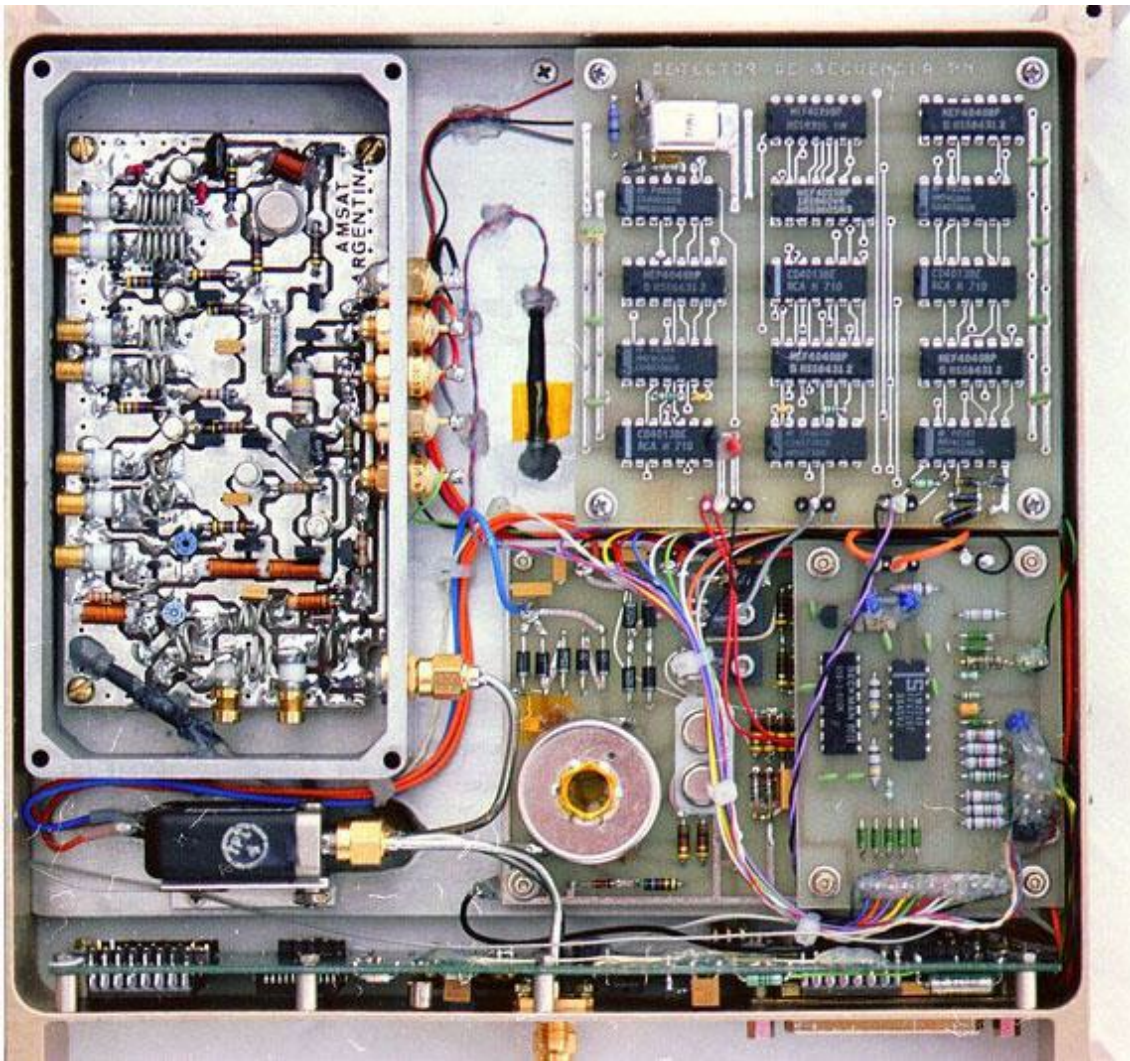


Fuente: Ozono (s/f)

Ilustración 7. Paneles solares del LUSAT-1

Fuente: Mayoraz, 2015

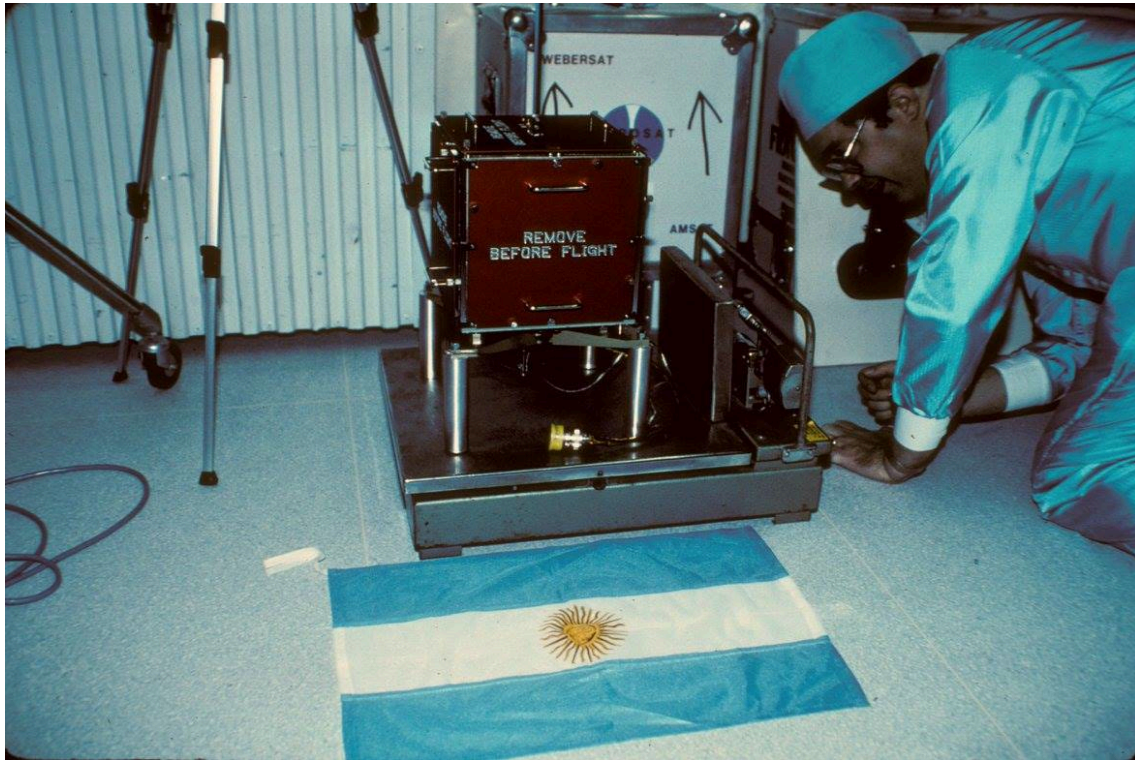
La carga útil del LUSAT-1 estaba constituida por cinco módulos: 1- dos transmisores BPSK, de los cuales uno era redundante en caso de que el primero registrara alguna falla; 2- una computadora de vuelo con un microprocesador de gran confiabilidad, preparado para resistir la radiación en órbita; 3- el módulo de energía; 4- el sistema de telemetría conformado por dos computadoras independientes; y 5- un receptor FSK (AMSAT-AR, 1989).

Ilustración 8. Radiobaliza o sistema de telemetría del LUSAT-1

Fuente: Ozono (s/f)

El diseño del sistema de telemetría, así como la construcción de los circuitos impresos fueron desarrollados en Argentina en un período de solo dos meses (AMSAT-AR, 1989). Ello se debió a las imposiciones del servicio de lanzamiento que proveía la empresa francesa Arianespace. El escaso tiempo forzó la superposición de los procesos de diseño y construcción, así como la ausencia de las instancias de testeo y prueba de los artefactos.

Ilustración 9. LUSAT-1 en Kourou



Fuente: Mayoraz, 2015

El 22 de enero de 1990, Arianespace mediante un cohete Ariane 4 puso en órbita al satélite LUSAT-1 desde la base de Guyana Francesa, siendo así el primer satélite argentino en el espacio. Más allá de que AMSAT-AR llevó adelante el proyecto, la falta de regulaciones nacionales en la materia implicaron que la UIT registrara al artefacto como un satélite de origen estadounidense (Domínguez, 1990).

La serie de Satélites de Aplicaciones Científicas

A inicios de la década de 1990, Argentina contaba con el LUSAT-1 en órbita y el proyecto del SAC-1 liderado por la CNIE. Sin embargo, el 28 de mayo de 1991 el gobierno nacional de Carlos Menem, mediante el Decreto PEN N° 995/91 estableció: 1- la creación de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), una agencia espacial civil (Art. 1) y 2- la disolución de la CNIE y el traspaso de todos sus activos y obligaciones a

la CONAE (Art. 8). Ello se debía a las múltiples presiones internacionales que recaían sobre la CNIE, en especial por sus avances en coherencia³ (De León, 2017).

Tras la creación de CONAE, el Poder Ejecutivo Nacional firmó un acuerdo de cooperación espacial con los EE.UU. El objetivo era establecer proyectos conjuntos de exploración de la Tierra y el espacio con fines pacíficos: los Satélites de Aplicaciones Científicas (SAC). El primer proyecto fue el SAC-B, cuyo objetivo de misión recuperó las bases del cancelado proyecto SAC-1 de la CNIE. Tras la definición del objetivo de misión y los instrumentos científicos de abordaje, CONAE contrató a INVAP S.E. para el desarrollo de la plataforma satelital (Cáceres, 2022).

En 1994, el gobierno nacional formuló el Plan Espacial “Argentina en el espacio 1995-2006” mediante el Decreto PEN N° 2.076/94. El Plan Espacial definía el marco y los objetivos que orientaban las inversiones y las actividades necesarias para que la Argentina aprovechara las ventajas de acceder al espacio ultraterrestre con medios e instrumentos propios, concentrando esfuerzos para participar en las mejores posiciones junto a la comunidad internacional de países con acceso a estas tecnologías. En dicho Plan, se programaba el enlace regular con satélites internacionales de observación, la construcción y puesta en órbita de varios satélites artificiales propios para diversos propósitos y la realización de estudios tendientes a la exploración y explotación del espacio ultraterrestre. El Plan preveía misiones espaciales científicas para realizar investigaciones que profundizaran el conocimiento de nuestro planeta y el espacio que lo rodea. Las misiones de teleobservación estaban destinadas a recoger información e imágenes de nuestro territorio continental, polar y su plataforma marítima para el mejor uso de nuestros recursos naturales; para la preservación del medio ambiente y para la prevención de catástrofes naturales.

El Plan contemplaba el desarrollo y puesta en órbita de satélites para telecomunicaciones de órbita baja con el fin de complementar los servicios que ya se encontraban en uso (de órbita geoestacionaria). Se preveía, además la más amplia difusión de la información obtenida desde el espacio y desde los medios para procesarla y aprovecharla para que

³ Durante la década de 1980, Argentina había sido blanco de múltiples presiones internacionales debido a los proyectos tecnológicos que llevaba adelante, tanto en el ámbito nuclear como espacial. La desarticulación de la CNIE, la creación de CONAE y la cancelación del Proyecto Cóndor II (un vector de lanzamiento con capacidad de guiado y control) fueron algunas decisiones que acercaron a la Argentina a los EE.UU.

nuestra sociedad pudiera beneficiarse con su uso y aplicación. Asimismo, los desarrollos, las actividades y las inversiones previstas en el Plan Espacial estaban orientadas a mejorar las ventajas competitivas de los sectores de la industria local que actuaba en el área de las tecnologías de avanzada, ampliando su horizonte de negocios y creando de este modo mayores y mejores oportunidades de trabajo en la producción de bienes y servicios de alto valor agregado.

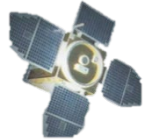
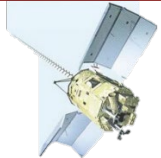
Se denomina "Ciclo de Información Espacial" (CIE) al conjunto de las etapas que comprenden la generación, transmisión, procesamiento y utilización de la información espacial. A lo largo de este "ciclo", las actividades espaciales operan ya sea como promotoras del uso, como proveedoras o consumidoras tanto de la información como de los medios para producirla, transmitirla, elaborarla y almacenarla.

Las acciones de CONAE estaban organizadas según proyectos y actividades en una estructura matricial en la que las actividades se desempeñaban como columnas de la matriz mientras que los proyectos representaban las filas de la misma. Tanto los proyectos como las actividades eran redefinidas de manera periódica y dinámica a partir del inicio o finalización de cada proyecto. Los proyectos y actividades que encaró CONAE estuvieron enmarcados en cinco cursos de acción u objetivos principales:

- a) Infraestructura terrestre;
- b) Sistemas satelitales;
- c) Sistemas de información;
- d) Acceso al espacio;
- e) Desarrollo institucional y tareas de base.

De acuerdo a estos cinco cursos de acción se elaboraron los objetivos específicos para cada ítem y en cuatro períodos: en curso, corto, mediano y largo plazo (Decreto PEN N° 2.076/94). Como proyecto del segundo curso de acción, CONAE definió el SAC-B, primer satélite del Plan Espacial Nacional fabricado en una empresa argentina, INVAP S.E.

Tabla 1. Serie satelital SAC

	Plataforma	Tipo de misión	Masa	Lanzador	Altura de órbita	Vida útil
SAC-B		Científica	191 kg.	Pegasus	550 km.	-
SAC-A		Validación de tecnología	68 kg.	Space Shuttle	410 km.	10 meses
SAC-C	 191 kg.	Observación de la Tierra	485 kg.	Delta II	705 km.	12 años 9 meses
SAC-D/Aquarius		Observación de la Tierra	1600 kg.	Delta II	657 km.	3 años 5 meses

Fuente: elaboración propia en base a datos de INVAP S.E. (s/f) y CONAE (S/F)

El SAC-B fue un satélite dedicado a la investigación científica, en especial al estudio del Sol. En ese sentido, la misión recuperó el anteproyecto que la CNIE y la NASA construyeron para el SAC-1. Fue puesto en órbita mediante el lanzador Pegasus el 4 de noviembre de 1996. Sin embargo, por cuestiones ajenas a la misión argentina, el SAC-B se mantuvo operativo solo por un reducido período de tiempo, ya que algunos problemas en la cápsula en la que viajaba le impidieron desplegar los paneles solares y absorber la energía necesaria para sostener su funcionamiento.

Más allá de las disposiciones del Plan Espacial Nacional, la CONAE no lideraba ni estaba involucrada en todos los proyectos espaciales que se desarrollaban en el país. Dos meses antes del lanzamiento del SAC-B, el Instituto Universitario Aeronáutico de Córdoba diseñó, desarrolló, integró y lanzó el micro satélite SAT1-Víctor desde el cosmódromo de Plesetsk en Rusia. SAT1-Víctor era un satélite experimental con fines educativos y de validación tecnológica, ya que su principal propósito era probar y evaluar los sistemas desarrollados por los investigadores y estudiantes universitarios. Llevaba a bordo dos cámaras para tomar imágenes de la Tierra, una de campo amplio y otra de campo estrecho; una baliza en *Very High Frequency* (VHF); un transmisor-receptor en *Ultra High Frequency* (UHF) para telemetría y telecomando y otro en banda “S” para la bajada de las imágenes. SAT1-Víctor, llamado así en homenaje al ingeniero Víctor Aruani, integrante del equipo, fallecido antes de terminar el proyecto, tenía capacidad para actualizar el software de la computadora en forma remota una vez puesto en órbita (Ciencia Hoy, 1997).

El 3 de diciembre de 1998, CONAE puso en órbita su segundo satélite, el SAC-A, nominación seleccionada para que la serie no quede incompleta. Este satélite tuvo como objetivo validar y calificar la tecnología desarrollada en Argentina. La misión fue posible debido a que la NASA, responsable de la puesta en órbita del SAC-B, asumió que la pérdida de la misión nacional se debía a fallas en el lanzador. Por ello, cedió a CONAE un espacio en el lanzamiento del *Space Shuttle*.

En el satélite SAC-A, además de CONAE e INVAP S.E. intervinieron otros organismos del Estado, tales como la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) quienes diseñaron el Sistema de Comunicaciones, Transmisión y Procesamiento de datos; y el Departamento de Energía Solar de la CNEA quien desarrolló dos pequeños paneles solares compuestos por siete celdas de silicio cada uno para estudiar su comportamiento en el ambiente espacial, así como cuatro celdas individuales distribuidas en las distintas caras del satélite, utilizadas como sensores de posición angular respecto al sistema de referencia solar (Godfrin, 1999).

El 21 de noviembre de 2000 fue lanzado el SAC-C cuyo objetivo era la observación de la Tierra en conjunto con los satélites Landsat 7, EO-1 y Terra, una constelación internacional que tenía como finalidad compartir información para el seguimiento de posibles desastres naturales y antropogénicos. La carga útil de este artefacto comprendía cuatro cámaras de teleobservación de fabricación nacional y otros instrumentos provistos por diversas agencias internacionales: experimento de navegación y actitud y un instrumento experimental de navegación (ASI-Italia); receptor GPS de posicionamiento global (NASA-EE.UU.); instrumento de medición del campo geomagnético (NASA-EE.UU. / DSRI-Dinamarca); y un instrumento para determinar el efecto del alta energía en componentes electrónicos (CNES-Francia). La fabricación de la plataforma y la integración de varios componentes en la carga útil constituyó un desafío para las capacidades de producción de INVAP S.E. También, para las capacidades de gestión con que contaba CONAE (Cáceres, 2022).

Durante la década de 1990, Argentina también contó con su primer satélite de comunicaciones, el Nahuel 1. Nahuelsat S.A., una empresa de capitales extranjeros, importó este artefacto desde los principales proveedores europeos. En 2006, ante los numerosos problemas que presentaba Nahuelsat S.A. y las posibles consecuencias que generaría su inestabilidad para el país, el Estado argentino decidió crear un operador nacional: la empresa Argentina Satelital Sociedad Anónima (ARSAT S.A.). Esta firma junto a INVAP S.E. desarrollaron la serie ARSAT, los primeros satélites geoestacionarios diseñados y fabricados en América Latina (Cáceres, 2021).

La serie SAC se completó el 10 de junio de 2011 con el lanzamiento del SAC-D/*Aquarius* que tenía como objetivo estudiar el océano, el clima y el ambiente. Este cuarto artefacto cerró un ciclo exitoso de satélites argentinos orbitando alrededor de la Tierra. INVAP S.E. S.E., al igual que en las misiones anteriores, fue el responsable del diseño y fabricación de la plataforma satelital.

Durante la fabricación del SAC-D/*Aquarius*, la agencia espacial argentina trabajó de forma conjunta con dos laboratorios de la NASA: el *Jet Propulsion Laboratory* y el *Goddard Space Flight Center*, quienes fueron los responsables de proveer el instrumento

Aquarius. Por su parte, la Agencia Espacial Italiana (ASI) proveyó el componente ROSA con el objetivo de estudiar la atmósfera, y el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de Francia, el componente CARMEN para analizar los efectos de la radiación cósmica sobre componentes electrónicos, distribución de micro-meteoritos y desechos espaciales (De Dicco, 2007).

La carga útil también contempló instrumentos de fabricación nacional, entre los que se encontraba una cámara de alta sensibilidad para la observación nocturna. Las instituciones del complejo científico-tecnológico nacional participaron, al igual que en la misión SAC-C, como proveedoras de partes componentes: el Grupo de Energía Solar de la CNEA proveyó los dispositivos fotovoltaicos; el Instituto Argentino de Radioastronomía y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Plata (FI-UNLP), un radiómetro de microondas; el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), el Observatorio de la UNLP y la Agencia Espacial de Canadá, una cámara para el barrido infrarrojo; el Grupo de Investigaciones en Comunicaciones Digitales (GriCOMD), un receptor destinado a la recolección satelital de datos provenientes de plataformas terrestres (TDP) para la determinación de órbita, posición y velocidades angulares del satélite; y el CIOP, cuatro giróscopos para el TDP (De Dicco, 2007; Lorente, Sager, Juarez, Carlotto, & Fernández Michelli).

2.3. Forma estabilizada de diseñar y construir un sistema satelital en las grandes instituciones públicas

Una misión espacial está compuesta de cuatro elementos: el segmento de vuelo, el segmento de tierra, el lanzador y los usuarios (González, 2019). El segmento de vuelo es el satélite propiamente dicho, conformado de dos elementos principales: la plataforma satelital y la carga útil.

La plataforma comprende varios subsistemas con funciones específicas: 1- el subsistema de control de actitud que, mediante un sistema de actuadores y sensores permite controlar la posición y la orientación del satélite en órbita; 2- el subsistema de propulsión que tiene como objetivo proveer el empuje necesario para la puesta del satélite en órbita. Este subsistema se encuentra compuesto por el motor de apogeo y pequeños motores. Mientras

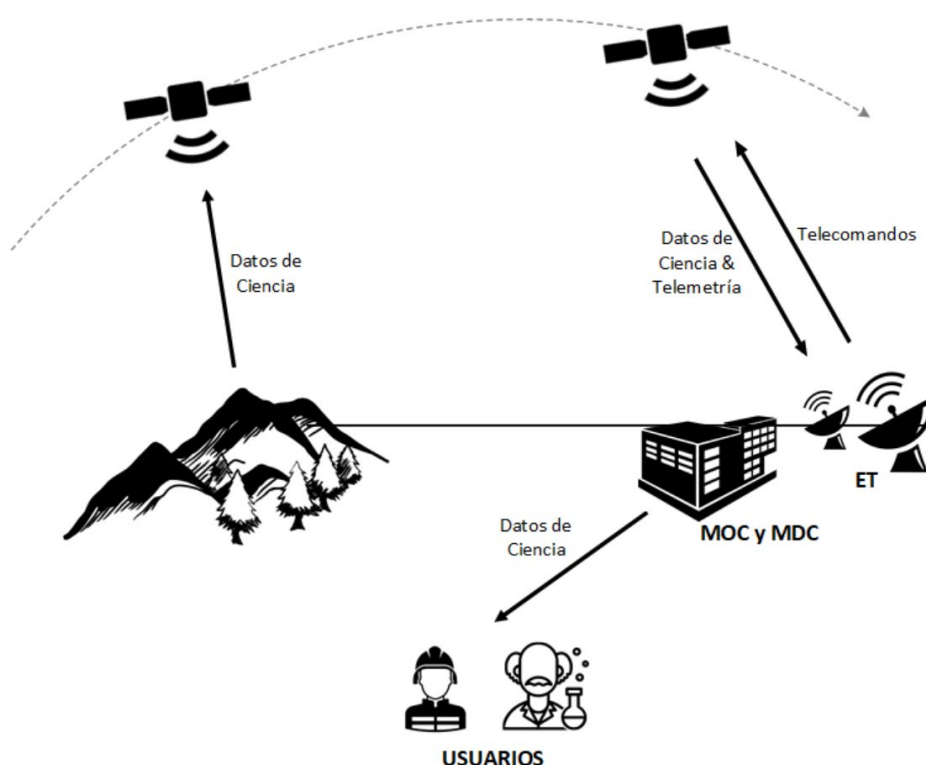
el primero se utiliza en las maniobras de transferencia de órbita, los segundos están orientados a las maniobras de estabilización y apuntamiento; 3- el subsistema de potencia se ocupa de generar, almacenar y distribuir la energía al resto de los subsistemas para garantizar el funcionamiento del satélite. Este subsistema se encuentra conformado por los paneles solares, mediante los cuales el artefacto obtiene la energía, y la batería; 4- el subsistema de control térmico a través del cual el satélite disipa el calor generado en su interior hacia el exterior. Para mantener a todo el artefacto dentro de los rangos de temperatura específicos de cada misión, el subsistema puede contemplar desde pinturas especiales hasta el pegado de reflectores en las caras de la plataforma satelital; 5- la estructura o soporte mecánico del satélite; 6- el subsistema de comunicaciones compuesto por las antenas y los transpondedores que mantienen los enlaces con la estación en tierra; y finalmente, 7- el de comando y manejo de datos.

La carga útil o *payload* es el corazón del satélite por lo que su configuración depende de los objetivos de la misión. En ese sentido, la carga útil comprende todos los dispositivos e instrumentos necesarios que posibilitan cumplir con las demandas de los actores interesados en la puesta en órbita del satélite. Mientras en el caso de una misión de exploración y observación de la Tierra los instrumentos principales son distintas cámaras y sensores, en un satélite de telecomunicaciones son las antenas, transpondedores, repetidores, amplificadores y demás dispositivos que permiten aprovechar el espectro radioeléctrico para brindar servicios de comunicaciones varios.

El segmento de tierra está integrado por las Estaciones Terrenas (ET), el Centro de Operación de Misión (MOC, por sus siglas en inglés *Mission Operation Center*) y el Centro de Datos de Misión (MDC, por sus siglas en inglés *Mission Data Center*). Las estaciones constituyen la interfaz entre el segmento de vuelo y el de tierra, ya que a través de estas se lleva a cabo la comunicación entre el centro de la misión y el satélite. El Centro de Operaciones es el responsable de planificar el rango de observación del satélite sobre la superficie de la Tierra; de enviar telecomandos al satélite; monitorear el funcionamiento de cada uno de los subsistemas a bordo; y recibir y descargar los datos de telemetría. Por último, el Centro de Datos se ocupa del procesamiento de los datos de telemetría adquiridos por los instrumentos para su posterior publicación y/o entrega a los usuarios de la misión.

El lanzador, vector o vehículo de lanzamiento es un segmento de transferencia ya que es el responsable de transportar y poner en órbita el satélite y su carga útil. Por último, los usuarios son todos aquellos destinatarios interesados en adquirir la información generada por la misión. En general, los principales usuarios son las agencias espaciales, la comunidad científica, los gobiernos nacionales, algunas empresas privadas e instituciones con fines específicos.

Ilustración 10. Esquema de una misión satelital



Fuente: González E., 2019

El diseño de un sistema satelital centrado en el Estado es un proceso que comienza cuando un grupo de actores (científicos, empresarios, políticos y/o técnicos) ponen de manifiesto ciertas necesidades que involucren el desarrollo de este tipo de tecnologías. Luego de la identificación de las necesidades más generales que permiten justificar ante la sociedad la misión espacial, los ingenieros proceden a la confección de documentos y planos específicos y detallados que posibilitan la fabricación del artefacto. Durante este proceso se definen las decisiones fundamentales en torno a los requisitos, los elementos críticos, el enfoque de desarrollo, el costo y el cronograma de la misión. De acuerdo a esto, en el proceso intervienen actores de diversas dependencias institucionales que, en general tienen intereses diferentes, incluso, contrapuestos.

El proceso de diseño de estas tecnologías se caracteriza por ser interactivo, iterativo, diacrónico y sincrónico (Aguirre, 2013). El carácter interactivo se debe precisamente a la injerencia que tienen los diferentes actores sobre el diseño. Según los estándares de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés *European Space Agency*) son tres los actores principales que deben considerarse: los usuarios de los *outputs* del satélite, el cliente u operador y el contratista principal (ESA, 1997). Es iterativo porque los requerimientos en el nivel superior de diseño (artefacto satélite) constituye un punto de partida. Luego tales requerimientos generales se descomponen en requerimientos más específicos que son necesarios para avanzar en el diseño de cada uno de los subsistemas, elementos y componentes críticos de la plataforma. Asimismo, también comprende el camino inverso, desde los más específicos a los más generales. Esto último permite verificar el cumplimiento de cada uno de los requerimientos de la misión.

El diseño de un satélite es un proceso diacrónico porque evoluciona a lo largo del tiempo de manera lineal y recurrente. Tanto la ESA como la NASA tienen estándares en los cuales dividen a los proyectos satelitales en fases lineales e incrementales de diseño y detalle. En general, las misiones satelitales contemplan la Fase de Ingeniería Básica, la Fase de Ingeniería de Detalle, la Fase de Fabricación, Integración y Testeo, y finalmente, la Fase de Puesta en órbita y Operación (ESA, 1996; NASA, 1995). Además, también es un proceso con carácter sincrónico debido a que en el diseño se materializan las necesidades varias y contrapuestas, así como las distintas restricciones de tiempo, de costo y de riesgo que atraviesan la misión.

Diseño de los Satélites de Aplicaciones Científicas en CONAE e INVAP S.E.

Durante el proceso de diseño de los Satélites de Aplicaciones Científicas (SAC), el Poder Ejecutivo Nacional fue el encargado de financiar las misiones a través de las partidas presupuestarias asignadas a la CONAE. La agencia espacial argentina fue la institución encargada de traducir las necesidades que tenían los usuarios de los productos del satélite, de operar el artefacto, y de recibir y analizar la información recabada desde el espacio. INVAP S.E. fue el contratista principal de las misiones, por lo que, en general recibió las especificaciones de CONAE y las tradujo de forma técnica.

El diseño de los satélites SAC fue un proceso tecnológico, pero también político. En el diseño debían articularse las necesidades del gobierno nacional que pretendía alinear la política tecnológica en general, y la política espacial en particular a las orientaciones de EE.UU. También debía comprender las pretensiones de CONAE, institución interesada en materializar el primer satélite local bajo los lineamientos del Plan Espacial Nacional, y de INVAP S.E., empresa interesada en desarrollar instrumentos críticos de forma endógena con el objetivo de generar nuevas capacidades productivas al interior de la firma. Finalmente, en el diseño debían incorporarse las necesidades de distintas instituciones del complejo científico-tecnológico local, así como de entidades internacionales interesadas en sistematizar información, ya sea para la realización de investigaciones o para la toma de decisiones ante fenómenos naturales y/o antropogénicos en la superficie terrestre.

¿Cómo se empieza la misión? Con el llamado de la agencia, de CONAE que nos dice qué es lo que quieren los científicos obtener del satélite. Entonces aparece la idea o varias ideas porque a uno le interesa una cosa, a otro otra cosa y así. De todos los pedidos, la agencia se queda con un conjunto porque en un satélite no se puede hacer todo. Entonces ahí se define la misión, la órbita en la que va a estar, la inclinación respecto al Ecuador, las caras que miran al Sol y las que siempre están a oscuras. Ahí se definen los instrumentos y se establecen los requerimientos de muy alto nivel (Trabajador N°1 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

CONAE cumplía la función de integrar en un proyecto satelital las necesidades de los distintos actores y traducirlas en forma técnica, por lo que definió los requerimientos más generales. Sin embargo, aunque las misiones SAC tenían un objetivo general (investigación, validación de tecnología u observación de la Tierra), estos no se tradujeron rápidamente en objetivos específicos que pudieran orientar a los equipos de trabajo encargados del diseño de los distintos subsistemas del satélite.

La realidad es que CONAE cuando vino a INVAP S.E. no lo tenía perfectamente definido y lo que fue pasando es que los requerimientos surgieron a partir de la interacción de los distintos grupos y se fueron mejorando mediante un proceso continuo. Los requerimientos no estuvieron

nunca listos hasta diez minutos antes de empezar (Trabajador N°1 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

La indefinición de CONAE respecto a los requerimientos de las misiones satelitales posibilitó que los ingenieros de INVAP S.E. participaran activamente en la especificación de los mismos. Ello significó, por un lado, que las interacciones entre los equipos fue clave para el avance de los procesos de ingeniería básica; por otro lado, que los intereses de INVAP S.E. estuvieran ampliamente representados en el diseño de las misiones satelitales. “El SAC-C originalmente pesaba 250 kilos, terminó en 500. Empezó con tres instrumentos, terminó con ocho. Tenía una cámara, nosotros hicimos tres” (Trabajador N°2 de INVAP, comunicación personal, 26 de abril de 2019). Las palabras del trabajador N°2 de INVAP S.E. dan cuenta tanto de los grandes niveles de flexibilidad que presentó el diseño como de la inserción de la compañía rionegrina en dicho proceso.

CONAE nos decía ‘queremos algo más o menos así’. Entonces, nosotros le pasábamos un presupuesto y armábamos un cronograma. Cuando arrancábamos, en cada una de las interacciones, ellos se daban cuenta que lo que querían no era exactamente lo que habían dicho. Entonces el satélite iba cambiando. Nosotros lo aceptábamos con total libertad. Por lo tanto, cambiaban el presupuesto y los tiempos. Los cronogramas y los presupuestos eran papeles que tenían que estar, pero sabíamos que se iban a cambiar, ya que las cosas estaban cuando tenían que estar y salían lo que tenía que salir (Trabajador N°1 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

Durante la fase de ingeniería básica, además de establecer los requerimientos de alto nivel, también se especifican los principales instrumentos y los proveedores o responsables de los mismos. Ello conlleva una planificación minuciosa que contempla el tiempo estimado para la materialización de la misión, el costo de la misma y los riesgos asociados. Todos estos factores, durante las misiones SAC, en general carecieron de estabilidad.

Para el SAC-A el requerimiento general era tener un satélite listo en seis meses. (...) Los únicos requerimientos verdaderos que existían eran los de seguridad. Es decir que el satélite que íbamos a poner en órbita no iba a interferir ni con la misión principal ni con Space Shuttle. Cualquier cosa que

nosotros hacíamos no debía poner en peligro la vida del astronauta (Trabajador N° 1 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

Mientras en el SAC-A las variaciones de tiempo fueron nulas debido a las imposiciones del servicio del lanzamiento, en la misión SAC-C fueron una constante. Ello se debió a la suma de nuevos instrumentos que complejizaron la carga útil y a la articulación de las distintas instituciones internacionales que estuvieron involucradas en el proyecto. Por su parte, los requerimientos científicos para el satélite SAC-D/*Aquarius* estuvieron definidos desde un principio. En este caso, el diseño tuvo mayores niveles de estabilidad debido a las exigencias que imponía el instrumento provisto por la NASA para el estudio de los océanos: *Aquarius*.

Desde el objetivo científico a decir cómo es el satélite hay una distancia. Entonces, hay todo un proceso de ingeniería de sistemas que te permite ir dándole forma a eso. Bueno, desde ese requerimiento de alto nivel, cómo nos vamos imaginando la plataforma, cómo es tal instrumento... pensamos que va a tener una antena de estas características, que va a pesar tantos kilos, que va a estar ubicado en tal órbita. También pensamos en qué cohete lo vamos a lanzar. Se hace una definición de todo eso para entender el concepto del diseño. Después está la ingeniería de detalle que te lleva al plano de la fabricación. Y durante esa ingeniería de detalle también fabricamos algunas partes del satélite que queríamos probar antes de ponernos a hacer el artefacto que efectivamente va a estar en el espacio (Trabajador N° 3 de INVAP, comunicación personal, 23 de octubre de 2019).

Una vez alcanzado el diseño conceptual de la misión satelital, los ingenieros de INVAP S.E. procedían a la construcción de especificaciones técnicas en planos detallados que posibilitaban la fabricación e integración de la plataforma, los subsistemas y/o partes componentes. Para ello fueron claves tanto las interacciones internas establecidas entre los distintos grupos de trabajo, como con los asesores internacionales que envió la NASA a Bariloche.

Lo mejor que nos pudo pasar fue que la NASA cuando nos mandó gente, nos mandó a los 'viejitos'. A nosotros fue lo mejor que nos pasó porque ellos en vez de enseñarnos cómo hacer un satélite y seguir una receta, nos enseñaron

los criterios. Eso fue muy virtuoso porque teníamos que entender por qué hacíamos las cosas (Trabajador N°4 de INVAP, comunicación personal, 23 de octubre de 2019).

La NASA, en su afán de colaborar con otras agencias espaciales y materializar proyectos satelitales conjuntos, propició que ingenieros experimentados en el sector asesoraran a los grupos de trabajo de INVAP S.E. y CONAE. Ese personal retirado de los proyectos activos favoreció una importante circulación de conocimientos, no solo de las soluciones estabilizadas sino de los principios que guiaban las mismas. Ello resultó fundamental para que los ingenieros locales pudieran comprender de forma acabada los procesos que llevaban adelante, así como reflexionar sobre la mejor adecuación a las condiciones locales.

En el SAC-D voló el primer panel solar de fabricación nacional. Nosotros produjimos los sustratos, los mecanismos de ese panel y la CNEA estuvo a cargo del pegado de las celdas. Las celdas se compraron en EE.UU., pero el pegado fue nacional. Es decir, se incorporaron ciertas cosas. La NASA siempre tuvo presente la idea de minimizar el riesgo tecnológico desde el principio. Ellos dijeron 'no vamos a hacer una inversión multimillonaria de doscientos millones de dólares, nosotros debemos estar convencidos' (Trabajador N°3 de INVAP, comunicación personal, 23 de octubre de 2019).

Durante la fase de diseño, los ingenieros de CONAE e INVAP S.E. definieron los subsistemas y/o componentes que iban a desarrollarse de forma endógena y aquellos que iban a ser adquiridos en el mercado satelital. Mientras la misión SAC-A tuvo un elevado nivel de integración nacional, en la misión SAC-D/*Aquarius* varios materiales y componentes críticos se compraron en el exterior. Esta última decisión se debió a varios factores. Primero, en el mercado nacional no existían empresas o instituciones que desarrollaran los equipos que requería el proyecto. Segundo, el desarrollo endógeno de algunos de los subsistemas y componentes críticos demandaría altos costos y un tiempo prolongado de desarrollo. Tercero, la NASA con el fin de reducir el nivel de riesgos promovía subsistemas estabilizados y con herencia de vuelo.

Para la misión SAC-D/*Aquarius*, CONAE e INVAP S.E. decidieron comprar la batería a la empresa ABSL (Inglaterra); el transmisor para la Banda X a Thales Alenia (Francia); el transpondedor de Banda S a Thales Alenia (España); el sensor estelar a la empresa Selex-Galileo (Italia); los giróscopos y las ruedas de inercia a la empresa Honeywell (EE.UU.); y el tanque de combustible a PSI (EE.UU.) (Trabajador N° 7 de INVAP, entrevista personal, 20 de abril de 2019). También, los ingenieros decidieron realizar desarrollos locales tanto en las instalaciones de CONAE e INVAP S.E., como de otras instituciones del complejo científico-tecnológico nacional.

La participación del sector privado internacional, además de validar y calificar la misión, materializó los conocimientos adquiridos por los actores locales involucrados en torno a sus propias capacidades y limitaciones, así como al funcionamiento del mercado de fabricación satelital. Por su parte, la participación de entidades nacionales permitió avanzar en el desarrollo de componentes críticos y promover la articulación público-privada a nivel nacional e internacional.

Fabricación e integración de los Satélites de Aplicaciones Científicas

Durante la fase de fabricación e integración de las distintas misiones, INVAP S.E. adoptó una filosofía de trabajo basada en la construcción de modelos o prototipos (Trabajador N°3 de INVAP, comunicación personal, 23 de octubre de 2019). Entre estos estaban el modelo estructural, el modelo de ingeniería, el modelo térmico y finalmente, el modelo de vuelo o satélite que efectivamente iba a ser puesto en el espacio.

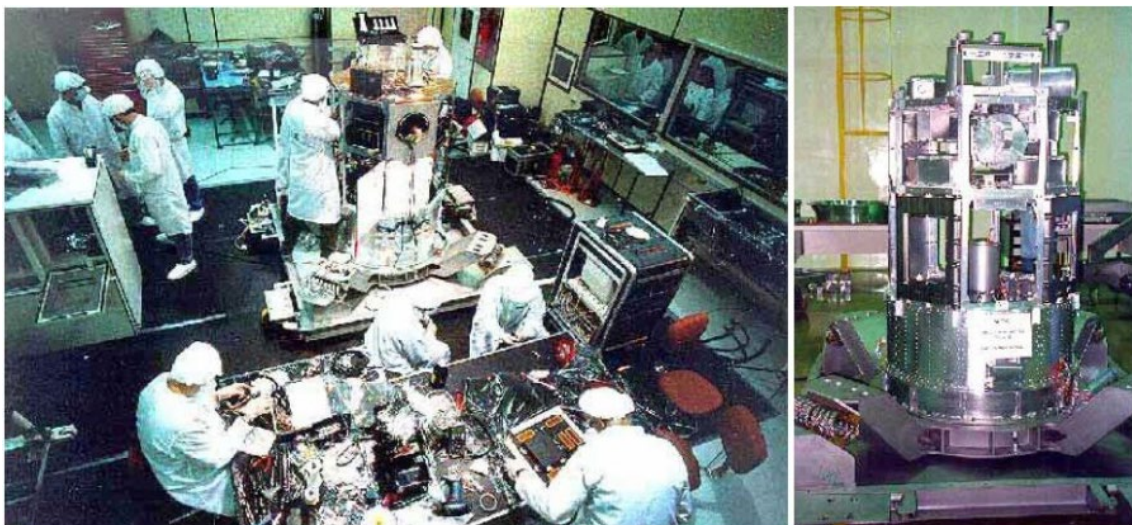
El modelo estructural (SM, por sus siglas en inglés) es un prototipo que tiene las características representativas del artefacto final en cuanto a los aspectos estructurales y componentes mecánicos de los subsistemas, aunque carece de los dispositivos electrónicos presentes en este último. Este modelo se utiliza para correlacionar las modelizaciones matemáticas con el comportamiento del artefacto y para calificar el diseño estructural. También para validar las instalaciones de prueba, los equipos de soporte en tierra y los procedimientos asociados.

El modelo de ingeniería (EM, por sus siglas en inglés) es un prototipo que comparte las características de diseño de los sistemas y subsistemas con el artefacto final, aunque

difiere en cuanto a los materiales utilizados en su construcción. Para este modelo los ingenieros fabrican los componentes con materiales de bajo costo por lo que, si bien tienen las mismas propiedades que el modelo final, difieren en los niveles de calidad. Este modelo permite verificar el funcionamiento del artefacto y validar los requerimientos de alto y bajo nivel, así como los procedimientos operativos y las interfaces entre los subsistemas. También permite verificar la funcionalidad de los equipos electrónicos de soporte en tierra que simulan otros subsistemas o emulan las condiciones de vuelo, así como realizar pruebas y depuraciones de las actualizaciones de software eventualmente requeridas. Finalmente, este modelo permite mejorar los procesos de integración y ensamblaje de los sistemas, subsistemas y componentes.

El modelo térmico (TM, por sus siglas en inglés) es un prototipo que se caracteriza por representar las propiedades térmicas del artefacto final por lo que se utiliza tanto para calificar el diseño térmico como para correlacionar las modelizaciones matemáticas con el comportamiento esperado del artefacto en el entorno espacial (Secretariat, 2010).

Ilustración 11. Modelo estructural del SAC-C



Fuente: INVAP S.E., S/D

La decisión de fabricar e integrar distintos modelos en cada una de las misiones SAC favoreció la adquisición de aprendizajes y la consecuente generación de nuevas capacidades en INVAP S.E. y CONAE. El trabajo con modelos permitió que cada una de las tareas productivas que desarrollaron los ingenieros argentinos constituyeran una instancia de retroalimentación no solo para los equipos encargados del diseño, sino

también para aquellos que estaban abocados a los procesos productivos y la configuración de los procedimientos asociados.

Los distintos modelos se desarrollaron en forma simultánea, pero como antecedentes del modelo de vuelo. Ello permitió que se registrara una optimización en el desarrollo de las tareas productivas durante la fabricación e integración del modelo final.

Además de la fabricación e integración de modelos a nivel sistema, algunos de los actores que participaron en el desarrollo de los satélites SAC siguieron una dinámica similar a nivel subsistemas o componentes. Durante la misión SAC-D/*Aquarius*, el Departamento de Energía Solar de la CNEA integró dos modelos de ingeniería para la fabricación de los paneles solares. Tanto el primer modelo (denominado EM#3) como el segundo (denominado EQM, *Engineering Qualification Model*, por sus siglas en inglés) estaban compuestos por seis cadenas de dieciocho celdas interconectadas en serie. Si bien las cadenas eran similares a las que finalmente se integraron en el modelo de vuelo, las construidas en los modelos de ingeniería contaban con un porcentaje de celdas inadecuadas para ser puestas en órbita. Esta decisión permitía simular el panel de vuelo, pero a costos más reducidos.

El Departamento contaba con experiencia en el desarrollo de celdas solares, puesto que había participado en la provisión de estas para la misión SAC-A (Cáceres, 2024). Sin embargo, para la misión SAC-D/*Aquarius* los ingenieros decidieron comprar las celdas a la empresa norteamericana Emcore Corp. La decisión de importar celdas solares pese a los proyectos locales de la CNEA fue socio-técnica. Los desarrollos y simulaciones del subsistema de potencia hechas por los profesionales de la CNEA determinaron que el máximo de celdas solares de silicio que podían integrarse en los paneles, no satisfacía la demanda de energía requerida por los componentes de la carga útil durante un eclipse, lo que afectaba la vida útil de la batería (Godfrin, Fernández Slezak, y Durán, 2005). Frente a este problema, la solución más adecuada a la misión fue la adquisición de celdas de arseniuro de galio, puesto que convierten en energía eléctrica el 28% de la energía solar recibida, casi el doble del rendimiento de las celdas de silicio (Caruso, 2011). Más allá de esto, el Departamento de Energía Solar proveyó doce celdas de silicio que fueron ubicadas en los paneles de la plataforma con la finalidad de determinar la posición del Sol - denominados paneles de sensores gruesos- con una precisión aproximada de 10° (Cáceres, 2024).

Ilustración 12. Integración SAC-B en la sala limpia de INVAP S.E.

Fuente: INVAP S.E., 1996

Durante la fase de fabricación e integración se registran dos procesos relevantes: 1- producción *in house* de algunos subsistemas y/o componentes; y 2- la interacción con las agencias espaciales, asesores internacionales y empresas proveedoras.

INVAP S.E. durante las misiones SAC llevó adelante el diseño y producción de varios componentes críticos (Trabajador N°4 de INVAP, comunicación personal, 23 de octubre de 2019). Hay tecnologías críticas que si no las controlamos no vamos a poder dar confianza. (...) las tecnologías críticas son las que tienen mayor incidencia en plazo, tiempo y costo (Trabajador N°3 de INVAP, comunicación personal, 23 de octubre de 2019). Tanto desde la dirección de la empresa como en cada una de las gerencias a cargo de las unidades de negocio se consideraba necesario desarrollar aquellos artefactos que demandaran altos niveles de conocimientos. En ese sentido, en las misiones SAC (y también en las subsiguientes misiones ARSAT y SAOCOM) no se registró la fabricación de bienes seriados o de bajo contenido tecnológico.

Para dar cuenta de los procesos que conforman la fase de fabricación e integración de las plataformas satelitales se consideró un artefacto específico: el desarrollo de una cámara multispectral para la misión SAC-C, lo que permitió extraer algunas conclusiones en forma estilizada sobre cómo se fabrican bienes complejos en INVAP S.E.

Para el SAC-C nosotros hicimos junto a CONAE tres cámaras: la MMRS [cámara multiespectral de resolución media], la HRTC una cámara de alta resolución [cámara pancromática de alta resolución] y HSTC una cámara de alta sensibilidad que utilizaba un sensor TDI que va integrando imágenes (Trabajador N°5 de INVAP, comunicación personal, 24 de octubre de 2019).

Ante los requerimientos de CONAE de que el instrumento principal de la misión (luego ampliado a ocho instrumentos) era una cámara multiespectral con cuatro bandas entre el visible y el infrarrojo se definió que la misma debía tener 175 m de resolución en Tierra a partir de la combinación de cinco lentes, de los cuales cuatro eran iguales y trabajaban en la sección visible del espectro y el restante, en el infrarrojo cercano. De acuerdo al tamaño de resolución, la cámara requería una lente de 40 mm porque ubicada a 600 km de altura permitiría barrer y juntar imágenes con la resolución deseada. Sin embargo, no existía ninguna tecnología -sensor- con un nivel de pixel de 10 micrones. Ante ese inconveniente, en base a los conocimientos formales que tenían los ingenieros de INVAP S.E. definieron que era necesario alinear cinco lentes sobre un mismo punto de la superficie de la Tierra.

Los ingenieros compraron lentes de 40 mm y empezaron a realizar el diseño óptico mediante el uso de programas específicos y la consulta de bibliografía específica. Luego de varios meses de trabajo, les permitió llegar a un diseño optimizado. Sin embargo, había un problema, las lentes adquiridas no eran adecuadas para ser puestas en el espacio debido a que eran sensibles a la radiación. Cuando estas lentes eran sometidas a los niveles de radiación existentes en el espacio ultraterrestre se oscurecían, lo que generaba la pérdida de transmisión de las imágenes (Trabajador N°5 de INVAP, comunicación personal, 24 de octubre de 2019).

Para resolver el inconveniente, INVAP S.E. se puso en contacto con proveedores internacionales de lentes resistentes a la radiación. Uno de los proveedores de un catálogo de más doscientos lentes, había llegado a producir solo diez lentes con los parámetros pretendidos por INVAP S.E. Los ingenieros locales adquirieron estas lentes y comenzaron a trabajar nuevamente en el diseño óptico, dado que era necesario adecuarlo a los mismos.

Una vez que los ingenieros lograron un diseño adecuado surgió un problema en torno a la curvatura del campo de visión, cuya resolución implicó la consulta de bibliografía especializada y el trabajo conjunto de las distintas áreas de trabajo involucradas. Además, cabe agregar que el pegado de cada una de las lentes demandó conocimientos para el pegado de los sensores en la placa frontal.

Primero, lo probamos con aluminio. El aluminio no funcionaba. Empezamos a hacer algunos estudios de un matching de coeficiente de expansión térmica del material del CCD, con el material de la placa focal, con el material del pegamento que fuéramos a utilizar. Ahí lo que hubo que hacer es buscar un pegamento que fuera buen conductor térmico, que no fuera conductor eléctrico y que tuviera un coeficiente de expansión térmica parecida al material de la cerámica del CCD, parecido a la placa focal porque si vos tenes coeficientes de expansión térmica muy distintos, el sensor se despegaba. Encontramos que el mejor material para eso era el titanio, encontramos el pegamento y empezamos con el proceso de desarrollo de pegarlo (Trabajador N°5 de INVAP, comunicación personal, 24 de octubre de 2019).

Para la fabricación de la cámara MMRS, INVAP S.E. diseñó y fabricó numerosos procesos y productos. En el primero se pueden mencionar el de pegado que demandó conocimiento sobre pegamentos específicos aptos para ser colocados en órbita, como también el de calibración de las lentes. Para el pegado de los sensores, los ingenieros debían considerar el espesor y la granulometría del pegamento, así como la fuerza aplicada al momento del pegado. Además, debían considerar el tiempo de secado del material, puesto que el imponía limitaciones a las correcciones necesarias para mantener el alineamiento de las lentes. Todo el proceso se probó en cuarenta sensores que formaron parte del modelo de ingeniería.

Para la calibración de las lentes, los ingenieros compraron un telescopio comercial y lo utilizaron al revés, así como una mesa rotatable. Con ello pudieron generar que todos los haces de luz en el plano focal convergieran en un determinado punto del campo central. La movilidad giratoria de la mesa les permitía rotar la lente e iluminar los distintos campos.

Se puede afirmar que los procesos productivos de INVAP S.E. estuvieron atravesados por múltiples problemas y errores que resultaron claves en tanto instancias que posibilitaron el avance de los conocimientos. La absorción de saberes a través de la práctica posibilitó que luego de la fabricación del modelo de ingeniería de las cámaras, los ingenieros y técnicos avanzaran en el modelo de vuelo de estas. Para este último diseñaron dos cámaras, siendo una de ellas redundante en caso de que alguna presentara algún nivel de falla (Trabajador N°5 de INVAP, comunicación personal, 24 de octubre de 2019).

Entre los productos que desarrolló INVAP S.E. en las misiones SAC se encuentra el laboratorio de óptica en sí mismo, así como numerosos equipos y herramientas específicas. Uno de estos equipos consistió en el diseño de un acople adicional para poder sujetar el sensor durante el sistema de pegado.

Cuando nosotros empezamos éramos un grupo de entusiastas que nos reuníamos una vez por semana con el jefe de proyecto y el ingeniero de sistemas. Era todo muy informal y se documentaba todo muy poco. Era más que nada una suma de buenas voluntades, pero con muy buenos profesionales. La gran ventaja era que contamos con la participación de la NASA. (...) Así se hizo toda la serie SAC. Eso nos permitió tener acceso a gente que sabía mucho. Nos mandaron a los viejitos de la NASA, tipos que ya no estaban dentro de los proyectos activos en ese momento, pero que conocían de todo (Trabajador N°1 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

Además de los aprendizajes generados por los ensayos de prueba y error, los ingenieros de INVAP S.E. aprendieron a partir de las interacciones que llevaron a cabo con ingenieros de las agencias espaciales internacionales, en especial de la NASA. Estos actores posibilitaron el acceso a un cúmulo de saberes que posibilitó la materialización de los proyectos satelitales argentinos.

Ensayos y puesta en órbita de los Satélites de Aplicaciones Científicas

Cada uno de los modelos a nivel sistema pasan por una serie de ensayos que permiten validar la tecnología con el fin de garantizar que el artefacto que finalmente será puesto en órbita cumplirá sus funciones por el tiempo establecido durante los requerimientos.

¿Cómo me aseguro que la estructura que yo hice para este satélite no se va a romper? Bueno, lo que puedo hacer es estimar el esfuerzo máximo a través del análisis. Entonces, establezco que debe poder soportar una aceleración de 10 G. Hago un ensayo, lo someto a 10 G de aceleración y veo que anduvo bien. Perfecto, me quedo tranquilo. La segunda vez que va a estar sometido a 10 G va a ser durante el lanzamiento, pero empiezan las dudas: '¿No se va a romper en esta oportunidad? ¿El tiempo que va a pasar no me va a cambiar las condiciones? ¿Las aceleraciones se van a plantear de la misma manera que se plantearon en los ensayos?' Entonces, normalmente, para todas las cosas mecánicas, térmicas uno dice que 'si debe soportar 10 G, primero el diseño de la estructura tiene que soportar más de 10 G'. Lo someto a una aceleración de 15 o 20 G para ver que no se rompa la estructura. Ese es un modelo de calificación. Recién ahí me quedo tranquilo que el diseño está bien (Trabajador N°1 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

De acuerdo a ello, existen ensayos de calificación y de aceptación. Mientras los primeros se llevan a cabo sobre los modelos estructurales, de ingeniería y térmico, los segundos se realizan sobre el modelo de vuelo. Más allá de las diferencias en cuanto a la carga a la que se someten los artefactos, ambos tipos de ensayos contemplan acciones similares.

Los ensayos ambientales simulan las condiciones del espacio exterior, así como aquellas a las que se verá sometido el satélite durante la fase de lanzamiento. En general, los ensayos ambientales pueden dividirse en tres grupos: 1- los ensayos dinámicos; 2- los ensayos de termo-vacío; y 3- los ensayos de compatibilidad electromagnética.

Los ensayos dinámicos simulan el ambiente durante el transporte desde la sala limpia hasta la base de lanzamiento, así como durante el despegue del lanzador. En ese sentido, este tipo de ensayos reproduce las vibraciones mecánicas y acústicas que tienen lugar en tales instancias dado que es relevante probar la confiabilidad de la estructura en momentos de gran estrés para la plataforma. Los ensayos de termo-vacío emulan las condiciones de transición entre la atmósfera terrestre y el vacío del espacio ultraterrestre. Para ello, los ingenieros someten al artefacto bajo ensayo a un ciclado térmico con variaciones térmicas extremas. Los ensayos de compatibilidad e interferencia electromagnética permiten verificar que todos los subsistemas tienen la capacidad de funcionar satisfactoriamente en entornos electromagnéticos y sin introducir perturbaciones al mismo. Además, permite

verificar si los subsistemas y/o componentes son compatibles entre sí al no generar interferencias o afectar a las comunicaciones propias o ajenas (Secretariat, 2012).

Ilustración 13. Ensayos del SAC-C

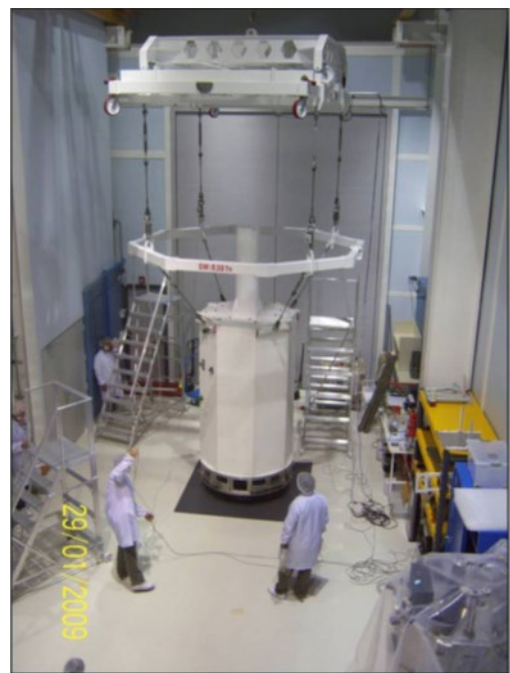


Fuente: <https://www.machtres.com/sacc.html>

Además de los distintos ensayos ambientales, los ingenieros realizaron una serie de verificaciones funcionales antes, durante y después de cada uno de los ensayos mencionados con el objetivo de visualizar el funcionamiento correcto de los equipos. También para comprobar que los mismos no sufrieron daños o degradaciones durante la campaña de ensayos. Entre estas pruebas se encuentran: 1- las pruebas de interfaz eléctrica que permiten demostrar la compatibilidad entre las interfaces de los diferentes subsistemas; 2- las pruebas de rendimiento limitado para demostrar que no existen degradaciones en la capacidad funcional del ítem ensayado; 3- las pruebas integrales de rendimiento durante los extremos fríos y calientes de la temperatura de la prueba de termo-vacío; 4- las pruebas funcionales completas que permiten demostrar que el hardware cumple con los requisitos de rendimiento dentro de las tolerancias permitidas.

Aparece el INPE. El INPE había hecho toda una infraestructura, pero no tenía nada que testear. Ahí empezamos y fue una excelente colaboración con los técnicos de allá. Nosotros ensayábamos y ellos aprendían a utilizar la facilidad junto con nosotros. Ahí tuvimos una fuerte interacción con ellos. Entendimos también qué era una facilidad de ensayos. Empezamos con las pruebas en el SAC-B. Para eso fuimos tres veces, luego con el modelo mecánico y con el térmico (Trabajador N°2 de INVAP, comunicación personal, 22 de octubre de 2019).

Ilustración 14. Ensayos del modelo estructural del SAC-D/Aquarius en el INPE



Fuente: Caruso, D. (2011) Misión SAC-D/Aquarius. Desarrollo, lanzamiento y chequeo en órbita.

Un problema socio-técnico persistente desde la primera misión, era la dificultad de ensayar localmente los modelos satelitales contruidos. En ese momento la estructura espacial argentina no contaba con un centro de ensayos, por lo que recurrieron a las instalaciones del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil.

Ante la falta de una solución que no fuera la dependencia de centros extranjeros, los ingenieros de INVAP S.E. S.E participaron activamente en el proceso con el consiguiente desarrollo de aprendizajes. Los ensayos sobre el modelo estructural conllevan múltiples visitas de los ingenieros locales a las instalaciones brasileñas, lo que posibilitó la creación

de vínculos de colaboración entre las entidades.

Además de validar el sistema mecánico, las continuas visitas posibilitaron que los actores locales adquirieran cierto entrenamiento en el manejo, transporte y operación de los equipos del INPE. Los múltiples ensayos sobre el modelo de ingeniería, el cual comprende no sólo la plataforma sino todos los subsistemas a bordo, permitieron que los operadores desarrollen aprendizajes en torno a la ejecución de los comandos (Caruso, 2011). Más allá de los conocimientos operativos, el uso de las instalaciones del INPE resultaron claves en el posterior desarrollo de una facilidad de ensayos en la Argentina: el Centro de Ensayos de Alta Tecnología (Picabea y Cáceres, 2023).

Ilustración 15. El SAC-D/Aquarius durante los ensayos previos al lanzamiento



Fuente: Marín (2011)

Tras la aceptación de los ensayos realizados sobre el modelo de vuelo, se procedió a la preparación de la campaña de lanzamiento. Durante las misiones SAC, el traslado de los satélites y la puesta en órbita fue responsabilidad de la NASA. Las cuatro misiones fueron lanzadas desde bases en EE.UU., pero con vehículos diferentes. Mientras el SAC-B lo hizo en el Pegasus, el SAC-A en el Space Shuttle, el SAC-C y SAC-D/*Aquarius* lo hicieron en el Delta II. Ello da cuenta de las capacidades tecnológicas existentes en INVAP S.E. y CONAE, las cuales le permitió adaptar el diseño de las plataformas a distintos tipos de lanzadores.

Ilustración 16. El SAC-D/ durante los ensayos ambientales

Fuente: Marín (2011)

Luego de la puesta en órbita exitosa (a excepción del SAC-B por una falla del lanzador), CONAE e INVAP S.E., así como el resto de los responsables de los instrumentos de cada carga útil procedieron a la verificación del satélite en tanto sistema, así como del funcionamiento de los subsistemas. Posterior a la etapa de configuración de vuelo, los ingenieros procedieron a operar cada satélite con el fin de misión establecido en cada caso.

2.4. Balance del capítulo

A partir de la década de 1960, en un escenario en que la industria argentina era pujante el gobierno nacional decidió crear la CNIE y colaborar con otras instituciones científicas en el sector aeroespacial. Si bien los principales avances estuvieron estrechamente vinculados con los primeros cohetes-lanzadores, Argentina hacia el año 1970 era uno de los cuatro países con capacidades para enviar un ser vivo al espacio (los otros tres países eran la URSS, EE.UU. y Francia). Las presiones internacionales sufridas en especial luego de la Guerra de Malvinas, la indecisión de los organismos públicos y el

desconocimiento del poder político en el sector generaron que ese camino tecnológico presentara grandes avances y proyectos exitosos, así como retrocesos y fracasos.

Durante la década de 1990, no sólo se concretaron proyectos satelitales de antaño (SAC-1 con su reconversión en SAC-B) y se lanzaron la mayor cantidad de satélites argentinos, sino que se sancionó una política para el sector: el Plan Espacial Nacional. Por esos años se visualizó que, además, de las instituciones estatales (CONAE, INVAP S.E. entre las más representativas), otras entidades públicas y privadas podían participar en esta industria. Ejemplo de ello era el LUSAT, artefacto realizado por una asociación de radioaficionados argentinos.

La materialidad de las misiones de CONAE posibilitó afianzar los vínculos con las principales agencias internacionales del sector: la NASA, la Agencia Espacial Italiana (ASI), el Center National D'Études Spatiales (CNES) de Francia, entre otros. Ello permitió no solo que se completara la serie SAC con cuatro misiones, sino la posterior planificación de nuevos proyectos desarrollados en las décadas siguientes: SAOCOM y SABIAMAR.

Todas estas misiones compartían el haber sido diseñadas y construidas por las mismas instituciones, tanto en el plano nacional como internacional. Ello derivó en una forma estabilizada de planificar, integrar, fabricar, ensayar y operar estas tecnologías. Tal forma se adecuó a los estándares vigentes en la industria a nivel mundial, en especial a partir de la adopción de especificaciones técnicas de la ESA y la NASA.

Por otro lado, en Argentina también se llevaron adelante proyectos satelitales liderados por otras instituciones que estaban al margen de la política espacial del momento. Si bien es posible sostener que los procesos productivos estuvieron orientados por lógicas diferentes a las que imperaban en CONAE e INVAP S.E., las mismas no buscaban modificar el marco tecnológico hegemónico en el sector satelital.

Capítulo 3

TRAYECTORIA DE UNA EMPRESA SATELITAL DE CAPITAL PRIVADO NACIONAL

A fines de la década de 1990, en Argentina tuvo lugar un proceso de institucionalización del sector espacial liderado por grandes entidades gubernamentales y empresas públicas. También se registraron desarrollos tecnológicos en otras áreas de actividad, tales como la informática y las tecnologías de la información y las comunicaciones. En dicho escenario se inscriben los antecedentes de Satellogic, la primera empresa de capitales nacionales privados en poner en órbita satélites del tipo CubeSat (nano satélites) de teleobservación.

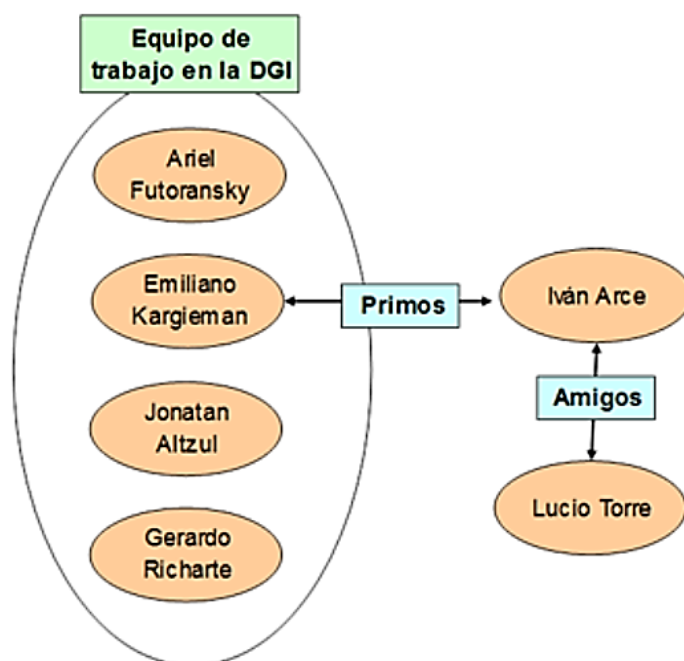
A inicios del siglo XXI, la industria satelital experimentó varios avances a nivel mundial. Por un lado, desarrollos originados en los departamentos de Defensa de EE.UU. como los sistemas de posicionamiento global pasaron a estar disponibles para las aplicaciones civiles. Por otro lado, se registró el primer viaje tripulado hacia la Estación Espacial Internacional lo que dio cuenta de los vínculos colaborativos existentes en el sector. Además, en el área comercial se registró un incremento en los servicios de comunicaciones vía satélite, así como la aparición de la televisión directa al hogar. Estos y muchos otros hitos tecnológicos dieron cuenta que el espacio era un área en el que se podían llevar adelante diversidad de proyectos.

Por entonces el espacio dejó de ser un área de acción privilegiada de los Estados y grandes empresas, mayormente de capitales públicos. Numerosas firmas privadas, desde grandes corporaciones hasta pequeñas y medianas empresas comenzaron a participar en misiones espaciales. Estas entidades eran mayormente ajenas a la lógica que imperaba en las instituciones espaciales por excelencia, por lo que posibilitaron el surgimiento de un nuevo paradigma, denominado *New Space*.

3.1. Una primera experiencia en software de seguridad informática

En 1996, Ariel Futoransky, Jonatan Altszul, Emiliano Kargieman, Gerardo Richarte, Lucio Torre e Iván Arce fundaron la empresa Core Security Technologies (desde entonces Core) dedicada a la seguridad informática. Los primeros cuatro de estos seis amigos tenían experiencia acumulada en el sector informático debido a que habían trabajado dos años en la Dirección General de Impuestos (DGI) en la que probaban las fallas de seguridad que podían tener los sistemas implementados a partir de un método conocido como *Penetration Testing*⁴. Las capacidades demostradas les permitió ganar algunos premios nacionales e internacionales en olimpiadas de matemática e informática.

Ilustración 17. Jóvenes fundadores de Core



Fuente: Gonzalo, 2015

“Era medio al revés, más que fundar una empresa nosotros queríamos hacer seguridad informática, la empresa era el vehículo para hacer eso” (E. Kargieman, citado en Gonzalo, 2015). En sus inicios, Core era una empresa que ofrecía servicios de consultoría informática con una estructura y funcionamiento informal, puesto que la sede era la casa

⁴ Un Test de Penetración es un método para obtener ciertas garantías en la seguridad de un sistema informático y/o electrónico al intentar vulnerar parte o la totalidad de la seguridad de ese sistema, utilizando las mismas herramientas y técnicas que podría usar un adversario.

de uno de los socios y la división de cargos no respondía a roles definidos (Cassidy, 2001). Durante los dos primeros años, la falta de capital impidió que la empresa desarrollara un producto de seguridad propio.

Teníamos unos amigos *hackers* en Canadá que estaban arrancando una empresa más o menos al mismo tiempo que Core y obtuvieron plata de un inversor ángel. Nosotros no teníamos un mango y entonces nos contrataron para desarrollar el 40% de un producto de software (Fundador de Core, comunicación personal, 17 de marzo 2023).

Las relaciones personales fueron claves para el crecimiento de Core. En 1997, la empresa firmó un contrato con Secure Networks Inc. (SNI) de Canadá por U\$S 30 mil para desarrollar el 40% de un software de escaneo llamado *Ballista* con el fin de detectar vulnerabilidades. Al año siguiente, SNI fue adquirida por Network Associates Inc. (NAI) por U\$S 28 millones. Sin embargo, el cambio de dueños en la compañía no impidió que Core siguiera trabajando en el producto *Ballista*. Core no sólo recibió un bono de gratificación de U\$S 280 mil por haber desarrollado *Ballista*, sino que firmó un nuevo contrato de U\$S 20 mil mensuales para realizar servicios de consultoría para la empresa NAI (Gonzalo, 2015).

El contrato que firmó con NAI aportó un flujo de ingresos mensuales que servían para el desarrollo de nuevos productos, al tiempo que posibilitó que dos de los socios de la compañía argentina viajaran a Silicon Valley para trabajar en las oficinas de NAI. El conocimiento adquirido a partir de las interacciones con el personal de esta empresa contribuyó a que los miembros de Core ampliaran su visión del negocio y comprendieran las posibilidades que existían para desarrollar nuevos productos.

Hicimos un mail, en realidad no un mail porque en esa época no había, sino un fax, y empezamos a mandárselo a todos los gerentes de seguridad de todas las empresas que encontrábamos. Le mandamos a todo el mundo. La casualidad dio que el Banco de Boston tenía un problema enorme con una auditoría y el gerente de seguridad estaba enojado. Y justo llegó el fax donde figuraba el producto que nosotros le ofrecíamos. Nos llamaron por teléfono y le terminamos vendiendo este producto que no existía. Fue un proceso de unos cuantos meses, pero terminamos cerrando una venta de U\$S 400 mil por

un producto que todavía no teníamos hecho. ¡Bah del cual teníamos algunas cosas, pero claro U\$S 400 mil para nosotros era como infinito! Entendíamos que podíamos hacer cualquier cosa con esa plata y al mismo tiempo lo que pasaba era que pensamos que hacer ese producto nos iba a llevar seis meses. Lo interesante era que como **ya le habíamos vendido un producto, nosotros nos íbamos a quedar con la propiedad intelectual. Nosotros lo que queríamos era financiar el desarrollo** y después poder venderle el mismo producto a otra gente (E. Kargieman en Startups Way, 2015. El resaltado es propio).

Los socios de Core decidieron emprender el desarrollo de un nuevo producto. Sin embargo, la falta de capital continuaba siendo el principal problema. Ante ello, diseñaron una estrategia que contemplaba la comercialización de un producto a futuro. En 1999 firmaron un contrato con el Banco de Boston. El contrato fue clave, puesto que posibilitó que Core contara con el financiamiento necesario para el desarrollo de un nuevo software de seguridad informático, no solo adecuado a las necesidades del Banco sino de otros potenciales clientes.

El contrato con el Banco posibilitó que Core pase de ser una empresa de servicios a una de desarrollo. Mientras una empresa de servicios se financia con la propia dinámica del negocio en la que cada operación es fondeada por el cliente que la contrata, una empresa de desarrollo financia con su propio capital el diseño de un producto, previamente a que éste sea vendido. En el caso bajo estudio, el Banco, además de un nuevo cliente fue quien financió el desarrollo de un producto, cuyo propietario intelectual y comercializador fue Core.

Para el diseño del nuevo software, Core analizó y evaluó las necesidades del Banco de Boston, así como las características que presentaban los distintos productos que existían en el mercado de la seguridad informática. Por entonces, cada software ofrecía un servicio de protección único, muchos de los cuales habían sido desarrollados por los propios miembros de Core durante los servicios de consultoría realizados. Sin embargo, no existía un sistema de protección integral. El conocimiento acumulado posibilitó que los socios de Core diseñaran un producto que integrara los sistemas de protección existentes: el software *Core Force*.

El contrato con el Banco de Boston estipulaba seis meses para la puesta en operación del nuevo producto. Sin embargo, las interacciones con el Banco y el desarrollo propiamente del *Core Force* llevó a que los plazos iniciales se extendieran. Debido a la dilación del cronograma fue necesaria la aplicación de criterios de modularidad, los cuales permitieron flexibilizar el proceso y atender las necesidades de corto plazo. A partir de esta estrategia, Core primero desarrolló un software que permitía solucionar una parte de los problemas del Banco y, luego avanzó en el diseño del producto final.

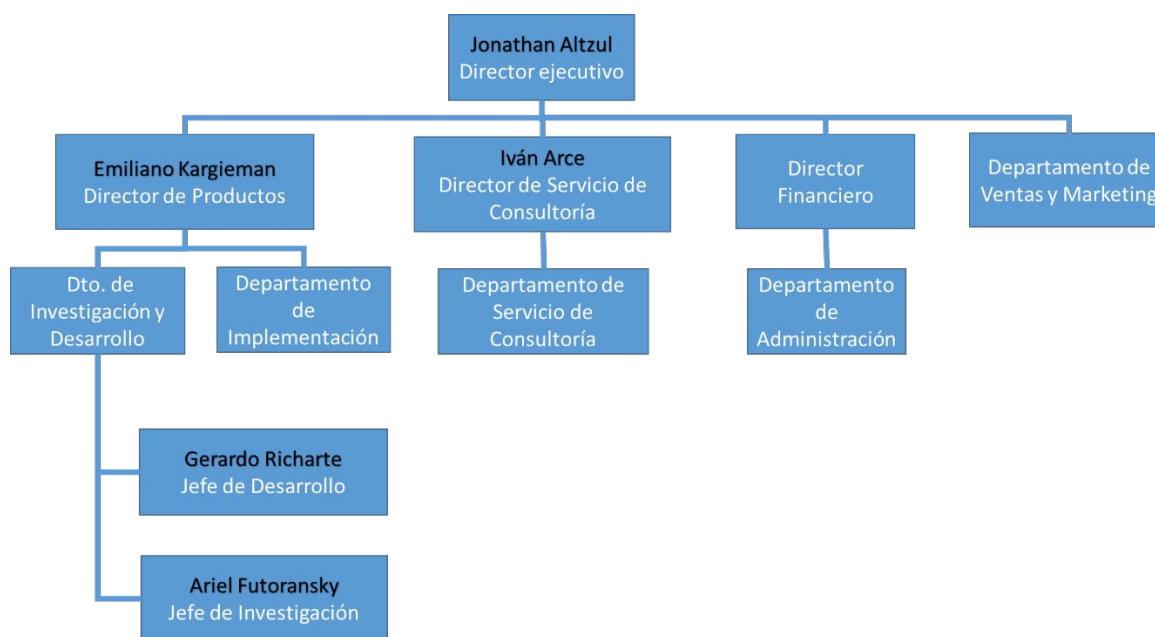
El desarrollo del *Core Force* también implicó nuevos desafíos en materia de financiación. Si bien Core tenía un flujo de capital proveniente tanto del contrato con el Banco de Boston como de otras consultorías que realizaba en paralelo, el flujo de dinero que ingresaba a la compañía no alcanzaba para desarrollar el producto al que se habían comprometido.

En 1999, Core generaba U\$S 175 mil anuales en concepto de consultorías que permitía la mantención operativa de la empresa. Sin embargo, ese mismo año la fundación Endeavor⁵ eligió a Jonatan Altszul -uno de los socios fundadores- como emprendedor del año y a Core como firma emprendedora. Dicho reconocimiento permitió que inversionistas le asignaran a Core U\$S 4 millones, los cuales fueron claves tanto para terminar el producto *Core Force*, así como para posicionarse en el ámbito internacional (Artopoulos, 2008).

En el año 2000, Jeffrey Cassidy, un estudiante estadounidense del *Máster Business Administration* de Harvard entró en contacto con Core, puesto que para su tesis de maestría analizaba dicha empresa. Las interacciones con Cassidy llevaron a que el mismo se incorporara a la compañía y desarrollara un plan de negocios dedicado al mercado estadounidense. En dicho escenario, la empresa había adquirido una estructura formal y complejizado su organigrama y funcionamiento.

⁵ Es una fundación que impulsa la economía local al seleccionar, asesorar y potenciar emprendimientos para que se transformen en empresas de alto impacto

Ilustración 18. Organigrama de Core en el año 2000



Fuente: Gonzalo, 2015

La empresa presentaba una división en cuatro áreas: Productos, Servicios de Consultoría, Ventas y Marketing y Administración. El área de Productos a su vez estaba subdividida en el sector de I+D (diseño e innovación, desarrollo y servicios de soporte) y el de producción.

En ese mismo año 2000, uno de los inversores contactó al fondo de inversión Pegasus, del cual Core consiguió U\$S 1.5 millones. La recomendación del Banco de Boston en Brasil y el impulso económico llevó a que los socios de Core decidieran expandir sus productos al exterior. Por lo tanto, Core abrió una oficina en Brasil para atender las necesidades de la sucursal del Banco de Boston en dicho país y otra en Nueva York para tratar de introducir al mercado estadounidense el software *Core Force*.

La expansión internacional de Core, si bien difícil parecía encaminarse tras el desarrollo del *Core Force*, la instalación de oficinas comerciales en Brasil y EE.UU. y el establecimiento de un cliente en el primero de los países. Sin embargo, una serie de factores externos afectaron la estabilidad de Core en Argentina, EE.UU. y Brasil. En Argentina, hacia fines del año 2001 tuvo lugar una crisis económica y social que generó la salida anticipada del Poder Ejecutivo y una fuerte inestabilidad política. En términos económicos, la salida de la crisis derivó en el abandono de los principios liberales y el

programa de la Convertibilidad, con la consecuente devaluación de la moneda nacional y el aumento de la pobreza y la desocupación. En dicho escenario, el fondo de inversión Pegasus entró en default. Por su parte, en EE.UU. el atentado de septiembre del 2001 sobre las Torres Gemelas paralizó al país, mientras que, en Brasil, la mayoría de los mercados habían adoptado una estrategia del tipo *wait and see* (esperar y ver), ante la asunción de un nuevo presidente de izquierda, Lula Da Silva. La situación de cada país resultaba compleja, más para una empresa como Core que buscaba introducirse en dichos mercados sin contar con una trayectoria previa y con un producto complejo de comercializar.

A pesar de los factores externos adversos, los socios de Core encontraron un nicho de mercado que no había sido explotado por los líderes de la industria de seguridad informática. *Core Force* era un producto potencialmente adecuado para los sectores financieros y de telecomunicaciones debido al carácter integral que presentaba. Sin embargo, el software tenía un problema. Los responsables de la seguridad debían encontrar de forma manual las vulnerabilidades en la red, por lo que era necesario diseñar dispositivos de automatización.

La automatización del proceso de búsqueda de vulnerabilidades -trabajo que realizaban las consultoras de seguridad informática- permitía a Core enfocarse en otro tipo de clientes: grandes empresas militares y/o gubernamentales capaces de pagar U\$S 15 mil por el producto (Gonzalo, 2015). Core se orientó a la creación de un nuevo producto para este tipo de clientes, denominado *Core Impact*.

En 2003, Cassidy consiguió los primeros clientes en EE.UU.: la National Aeronautics and Space Administration (NASA), la Casa Blanca y una oficina pública del Estado de Connecticut. En ese año, Core gestionó nuevo financiamiento a través de un grupo de inversores para el pago de los salarios y para la contratación de un *Chief Executive Officer* (CEO) en los EE.UU.

Tabla 2. Productos de Core y potenciales clientes

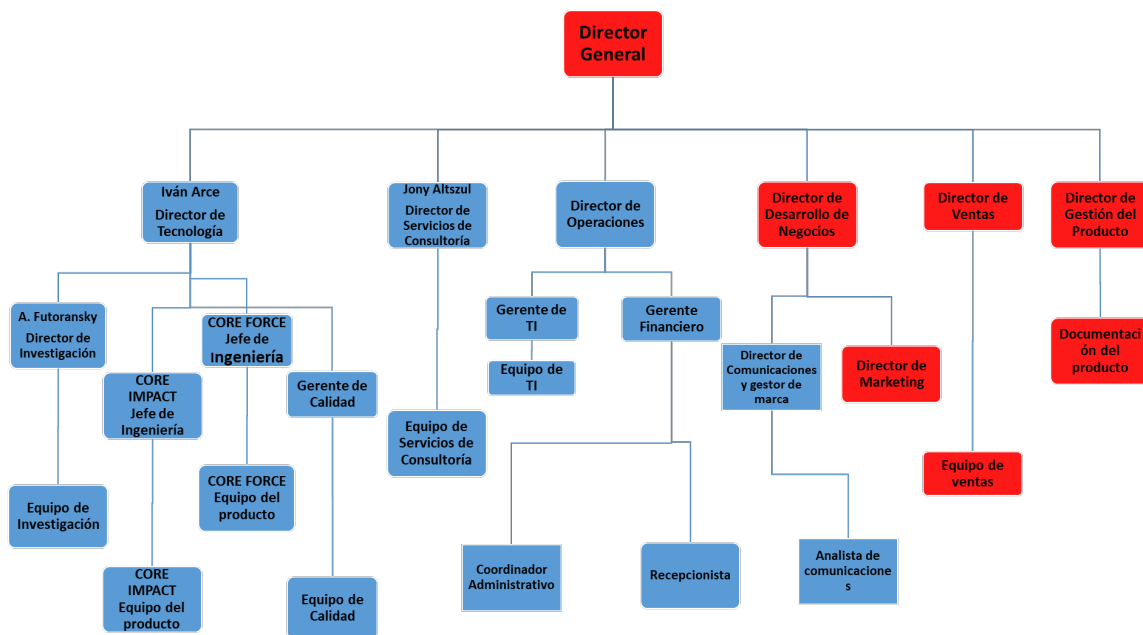
Producto/ software	Año	Descripción del Producto	Clientes
Ballista	1998	El primer producto de software, realizado en conjunto con SNI (empresa canadiense). Escáner de vulnerabilidades de software de diversos sistemas.	Administración Nacional de Aduanas. Ernst & Young.
Core Force	2000	Es la evolución de Ballista. Además de escáner de vulnerabilidades de software estaba centrado en la gestión de firewalls y seguridad de redes.	Banco de Boston. Accenture. KPMG.
Core Impact	2003	Producto que podía ser operado desde internet, no requería de grandes proyectos de implementación y automatizaba muchos procesos de auditoría de seguridad informática.	NASA. Universidad de Maryland. IBM. US Air Force. Microsoft.

Fuente: elaboración propia en base a Gonzalo, M. (2015) y Artopoulos, A. (2008)

La elección de un CEO para la oficina ubicada en EE.UU. apuntaló el área comercial mediante el aumento de las ventas del *Core Impact* en dicho país. Pero, también constituyó el inicio de una transformación en el personal y en el Directorio de la empresa. Core pasó de ser una empresa liderada por tecnólogos argentinos -como lo eran los socios fundadores de Core- a convertirse en una compañía manejada por directores comerciales de origen estadounidense.

Para el año 2005, el personal de Core estaba conformado por un 35% de empleados de nacionalidad estadounidense, con fuerte perfil empresarial y un CEO con asiento en Boston (E. Kargieman en Startups Way, 2015). “Para poder lograr la inversión necesitábamos que la empresa esté radicada en los Estados Unidos y con subsidiarias en Argentina y Brasil, por eso es en este momento que ya no es más una empresa argentina” (Fundador de Core, comunicación personal, 17 de marzo de 2023). La nueva ronda de inversores que se realizó ese año con el fin de potenciar aún más el software *Core Impact* derivó en nuevos cambios organizacionales. Primero, Core dejó de ser una empresa argentina, luego los socios fundadores mantuvieron sólo el 22% de la participación accionaria de la empresa y finalmente, retuvieron un solo lugar en el directorio (Gonzalo, 2015).

Ilustración 19. Organigrama de Core en el año 2005



Fuente: Gonzalo, 2015

Tres de los socios fundadores ocuparon puestos gerenciales de índole netamente técnicos, mientras que nativos estadounidenses fueron responsables de las funciones que tenían asiento en Boston. La toma de decisiones pasó a estar en manos de la multinacional financiera Morgan Stanley Venture Partners y el fondo de inversión Pegasus Capital. En la Ilustración N° 19 se puede observar la división de tareas entre técnicos argentinos (celeste) y gerentes comerciales estadounidenses (rojo).

El cambio en el Directorio transformó a Core en una empresa bi-nodal, con una oficina en Buenos Aires (dedicada a manejar la parte netamente técnica) y la otra en Boston (dedicada a la parte gerencial y de negocios). Las personas que ocupaban la oficina en Buenos Aires contaban con amplios conocimientos técnicos. Sin embargo, dada la política de devaluación que tuvo lugar en el país, el costo de esta mano de obra fue comparativamente reducido a sus pares estadounidenses. Por su parte, las personas que ocupaban la oficina de Boston contaban con conocimientos en comercio, *marketing* y en el mercado estadounidense, por lo que fueron esenciales para la viabilidad del software *Core Impact*. En 2008, Core tenía un perfil *Born-again Global* que, de acuerdo a la teoría de la internacionalización de empresas constituye un tipo de PyME de trayectoria local o regional que a partir de un evento determinado se orienta hacia el mercado internacional abierto (Bell, McNaughton y Young, 2001).

3.2. De un fondo de inversión al cuestionamiento de los estándares de la tecnología espacial

Los numerosos cambios organizacionales en Core generaron el alejamiento de algunos de sus miembros fundadores. En 2007, Emiliano Kargieman fundó Aconcagua Ventures, una empresa de capital de riesgo inversora en startups de tecnología. Esta empresa invirtió en tres startups de alta tecnología de Argentina y Latinoamérica para desarrollar sus negocios internacionales: Popego Inc., The Whuffie Bank y Keepcon. Nuevamente las relaciones personales fueron claves en el inicio de los negocios, puesto que dos de estas empresas tenían entre los socios fundadores amigos o conocidos de Kargieman.

Popego Inc. se fundó en 2007 por Santiago Siri y Fernando Zunino en Palermo, Buenos Aires luego de presentarse y ganar una competencia mundial muy reconocida sobre startups llamada Tech Crunch 50. La empresa contaba con una inversión inicial de U\$S 250 mil aportada por Aconcagua y comprendía once personas en total, entre programadores y diseñadores. Popego diseño, creó y comercializó una aplicación que integraba todas las redes sociales (creadas hasta ese año), la cual a través de un algoritmo sofisticado filtraba y clasificaba todo el contenido según los gustos y preferencias del usuario (Infobae, 2017).

En 2008, Santiago Siri y Martin Añazco fundaron The Whuffie Bank, quien también participó y ganó en la misma competencia de Popego, siendo seleccionada por segundo año consecutivo una *startup* de Latinoamérica (la anterior había sido justamente Popego). The Whuffie Bank era un banco de intercambio de monedas digitales basado en la reputación que los usuarios poseen en sus redes sociales, como Twitter y Facebook. Según la actividad, amigos y otras variables, cada persona tiene una cantidad de “Whuffies” mensuales, que funcionan como una nueva moneda dentro del mundo de Internet (en esa época paralelamente estaba naciendo el Bitcoin).

La primera idea que tuve acerca de cómo poder aplicar la tecnología para resolver problemas más grandes fue armar un fondo de inversión (Aconcagua) que me permitiera identificar talento en Argentina y la región. **Estuve tres años haciendo eso y fue la experiencia más frustrante de mi vida**, porque yo no soy inversor soy emprendedor y cuando uno es emprendedor la entrega es muy distinta, consiste en ir detrás de una idea, de

una visión que esencialmente va en contra de las probabilidades (E. Kargieman, citado en Amoroso y Meriño, 2022, el resaltado es propio).

También en 2008, Matías Rozenfarb y Julio Guzmán fundaron Keepcon, la única de las tres empresas que subsiste al día de hoy. Se trata de una empresa que utilizaba un software de búsqueda sofisticado mediante la aplicación de tecnología semántica⁶, para procesar y clasificar en tiempo real lenguaje natural informalmente escrito en español, inglés y portugués. El algoritmo permitía, con un mínimo esfuerzo de configuración, comprender y clasificar con altísima precisión lo que las personas expresaban de manera informal en cualquier fuente digital, tales como Mail, WhatsApp, Webchat, Bots, u otras. Además de Aconcagua Ventures, la empresa contó con inversiones provenientes de otros fondos como Endeavor, Monashees e incluso del Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR) y del Fondo Fiduciario de Promoción a la Industria del Software (FONSOFT) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINCYT) (Pressreader, 2013).

Más allá de los niveles de éxito o fracaso de las iniciativas precedentes, Kargieman comenzó a cuestionarse sobre temas que trascendían los intereses de la empresa Aconcagua. Por entonces, la energía, la agricultura y el “cómo darle de comer a diez mil millones de personas en el futuro” eran cuestiones de su interés. Tales inquietudes lo llevaron primero, a la Universidad de la Laguna en Tenerife donde se hacían grandes telescopios con la finalidad que pudieran utilizarse en la mejora y eficiencia del suelo cultivable y luego, a la ciudad de San Francisco (EE.UU.) donde entró en contacto con personas involucradas en la Singularity University.

La Singularity University es una institución académica ubicada en Silicon Valley cuyo objetivo es “reunir, educar e inspirar a un grupo de dirigentes que se esfuercen por comprender y facilitar el desarrollo exponencial de las tecnologías y promover, aplicar, orientar y guiar estas herramientas para resolver los grandes desafíos de la humanidad” (Singularity University, s/f).

En Singularity escribí un paper de cincuenta páginas donde explicaba lo que quería hacer, por qué me parecía factible y cómo lo iba a hacer. Empecé a mostrárselo a gente de la NASA y todos me decían que estaba 100% loco,

⁶ La tecnología semántica suele definirse de una manera simple como el software que analiza el texto y es capaz de asociar palabras con significados. <https://www.expert.ai/es/tecnologia-semantica/>

salvo una persona, el Chief Technologies del Centro Espacial AMES, John Hines. Me entrevisté varias veces con él y finalmente me dijo: **“Lo que quieres hacer no va a funcionar, pero no tengo idea de porqué”**. Fue ahí que dije: **“Bueno estoy listo para dar el próximo paso”** (E. Kargieman, citado en Amoroso y Meriño, 2022, el resaltado es propio)

Las interacciones forjadas durante la estancia en la Singularity University llevó a Kargieman a conocer e interesarse en la industria aeroespacial en general, y en reconocer el potencial de crecimiento que tenía la industria satelital de observación de la Tierra, puesto que hasta ese momento utilizaba tecnología de hace unos cincuenta años, tales como monitores de tubo de rayos catódicos de fósforo verde. Más allá del tiempo de estabilización de una tecnología, Kargieman cuestionaba otro aspecto: “estamos volando tecnología vieja por un montón de razones, pero sobre todo porque está construida con una mentalidad que es muy adversa al riesgo” (TEDxRíodelaPlata, 2011).

¿Cómo fue el crecimiento y desarrollo de dos tecnologías que empezaron más o menos en la misma época y más o menos por las mismas razones? La aeroespacial (en 1957 se lanza el primer satélite artificial) y la informática (en 1958 se crea el primer circuito integrado). En los siguientes diez años en la industria aeroespacial, llega el primer hombre a la Luna y en la industria informática se conecta la red Arpanet (la antecesora de lo que hoy es Internet). Pero a partir de ahí **si comparamos lo que hoy en día es Internet, haciendo un paralelo a la industria aeroespacial tendríamos que haber conquistado el sistema solar y algunas galaxias cercanas. Pero como eso no ocurrió me empecé a preguntar ¿por qué?** (TEDxRíodelaPlata, 2011, el resaltado es propio).

Kargieman tenía en mente “hackear la industria espacial” y con eso lograr lo que él llamaba “la democratización del espacio”, es decir que más personas en el mundo puedan acceder a la tecnología satelital. Para eso y en respuesta a la pregunta ¿cómo optimizar la superficie cultivable de la tierra? la solución que proponía radicaba en utilizar una constelación de trescientos satélites con capacidad de sacar fotos y videos para poder monitorear en tiempo real cualquier punto de la Tierra. Además, planteaba que las personas pudieran realizar sus propios experimentos (en un principio de software) en dichos satélites y así democratizar el acceso a ellos.

Kargieman no solo era ajeno a los principios que guiaban la industria espacial en general, y a la industria satelital en particular, sino que no compartía los patrones mentales propios de los ingenieros involucrados en el desarrollo de satélites. Ello permite afirmar que Kargieman tenía un bajo o nulo grado de inclusión en el marco tecnológico vigente en el sector espacial. Pero, sí era un agente incluido en el marco tecnológico de la informática.

3.3. La creación de Satellogic

Satellogic fue fundada el 13 de julio de 2010 por Emiliano Kargieman y Andrew Fursman, ambos estudiantes de Singularity University. Satellogic en un primer momento se registró como empresa global en las Islas Vírgenes Británicas, con una sede en Argentina en los siguientes años. Posiblemente tal decisión se debió a las facilidades impositivas existentes en dicho territorio comparativamente a lo que exigía el Estado argentino. A los pocos meses del inicio de la compañía, el segundo socio abandonó el proyecto.

Satellogic pretendía lanzar al espacio una constelación de trescientos satélites en la órbita de órbita baja (LEO)⁷ para visualizar cualquier punto de la superficie de la Tierra, si fuera posible en tiempo real o por lo menos cada 15 minutos. Los productos que generarían estos satélites tendrían múltiples aplicaciones, tales como observar un campo y analizar la variación del cultivo de acuerdo a sequías, inundaciones, incendios, u otros fenómenos. Entonces, los productos satelitales permitirían optimizar la superficie cultivable, observar y analizar las condiciones de cierta área terrestre luego de una catástrofe, y ayudar de forma rápida a su reparación.

Construir una *startup* del espacio no debería ser muy distinta a otra industria. Uno primero se llena de ideas de lo que tiene alrededor y trata de hacerlas rebotar con la gente que conoce. Después empieza a hacer los primeros prototipos y luego, sumar gente al proyecto que, si uno tiene suerte, es más brillante que uno. Y en este caso, **gente que no trabaje en la industria**

⁷ LEO (de las siglas Low Earth Orbit) es una franja entre los 160 km y los 2.000 km de altura sobre la superficie del planeta.

espacial porque lo que uno necesita para hacer las cosas radicalmente más baratas es que no venga contaminada con pensamientos previos de que es posible y que no es posible (TEDxRíodelaPlata, 2013, el resaltado es propio).

De acuerdo a la cita precedente, el director de Satellogic no tenía un interés particular en el desarrollo de un sector conocimiento-intensivo en la Argentina, sino en crear una *startup*. Que la misma estuviese referida a la observación de la Tierra u a otra actividad económica eran aspectos marginales.

Para iniciar la parte técnica de la *startup*, Kargieman convocó a un antiguo compañero, Gerardo Richarte. Si bien ambos tenían una amplia experiencia en el desarrollo de software, carecían de conocimientos propios del sector satelital. La baja o nula inclusión en el marco tecnológico vigente en el sector satelital se constituía en la capacidad de absorción más importante, puesto que estar despojado de dicha estructura mental, según Kargieman favorecería el planteo de ciertos problemas o la proposición de algunas soluciones tecnológicas contradictorias a los esquemas estabilizados en la industria.

Los primeros días fueron una montaña rusa para el cerebro, con infinitas cosas para aprender y resolver. Lo primero fue averiguar si la naturaleza (o la física) nos permitiría capturar imágenes con una resolución inferior al metro, de calidad increíble desde **un satélite pequeño, liviano y de bajo costo**. Teníamos muchas ideas. Para nuestros satélites, la luz no es suficiente a menos que juegues con ellos, y nos gusta jugar. Por lo general, el problema desaparece en otra dimensión una vez que encuentra una solución. Aun así, todo el mundo decía 'eso no va a funcionar', así que tuvimos que pensarlo una y otra vez. (Richarte, 2022).

El desconocimiento que tenían los socios de Satellogic respecto a la industria satelital llevó a que estos comenzaran a buscar soluciones a sus inquietudes en el área de la física. Por un lado, lo hicieron mediante la consulta a bibliografía específica. Por otro lado, a través de la consulta a especialistas que en general, consideraban inviable el proyecto de poner en órbita un satélite de bajo costo.

En 2011, los socios de Satellogic en base a sus capacidades acumuladas en informática desarrollaron un software que simulaba las condiciones de un satélite en el espacio, lo que les permitía poder evaluar las ideas que tenían en mente (E. Kargieman, 2022).

Para materializar la idea de construir una constelación de satélites que obtuvieran una imagen de la Tierra en tiempo real era necesario diseñar, fabricar, poner en órbita y operar al menos un prototipo que permitiera probar las tecnologías en el espacio. Sin embargo, Satellogic carecía de los conocimientos necesarios, por lo que los socios de la compañía interactuaron con las instituciones de mayor experiencia en el sector satelital en la Argentina.

La generación de los primeros vínculos institucionales con INVAP S.E.

Kargieman conocía a Tulio Calderón, Gerente del Área Espacial de INVAP S.E., y a Lino Baraño, responsable del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. Dado que los fundadores de Satellogic necesitaban entablar interacciones con profesionales que tuvieran conocimientos en satélites, en 2012 decidieron visitar las instalaciones de INVAP S.E. y proponerle la fabricación de dos pequeños satélites en forma conjunta.

Emiliano cuando vino a Bariloche decía que su modelo de negocios se basaba en dos cosas. Primero, la constelación iba a permitir tomar imágenes de cualquier lugar de la Tierra con una periodicidad de quince minutos. Algo que en ese momento nadie podía hacer ni pensaba hacer en el corto plazo. Si bien era una idea en principio factible, la principal objeción que tenían los expertos de INVAP era que EE.UU. no lo iba a dejar poner trescientos satélites en órbita. Segundo, esos trescientos satélites iban a permitir que la gente suba su software y haga experimentos en ellos (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 01 de agosto de 2023).

Si bien en la compañía rionegrina algunos ingenieros y técnicos se mostraron interesados en el proyecto de Satellogic, la mayoría tenía amplias reservas respecto a la posibilidad de que el mismo pudiera materializarse, en especial por la oposición que podrían mostrar los países centrales respecto al lanzamiento de una constelación de varios centenares de

satélites. Más allá de esto, INVAP S.E. se sumó al proyecto de desarrollo de dos nano satélites.

El acuerdo establecido entre INVAP S.E. y Satellogic consistía en que ambas partes aportarían U\$S 500 mil, puesto que se estimó que ambos satélites tendrían un costo aproximado de U\$S 1 millón, muy por debajo de los precios estándar de la industria satelital convencional. Satellogic había conseguido que diez amigos personales de Kargieman aportaran U\$S 50 mil cada uno en calidad de financiamiento privado para el proyecto. Por su parte, INVAP S.E. aportaría dicha suma en conceptos de horas hombre y *know how* (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 10 de marzo de 2023).

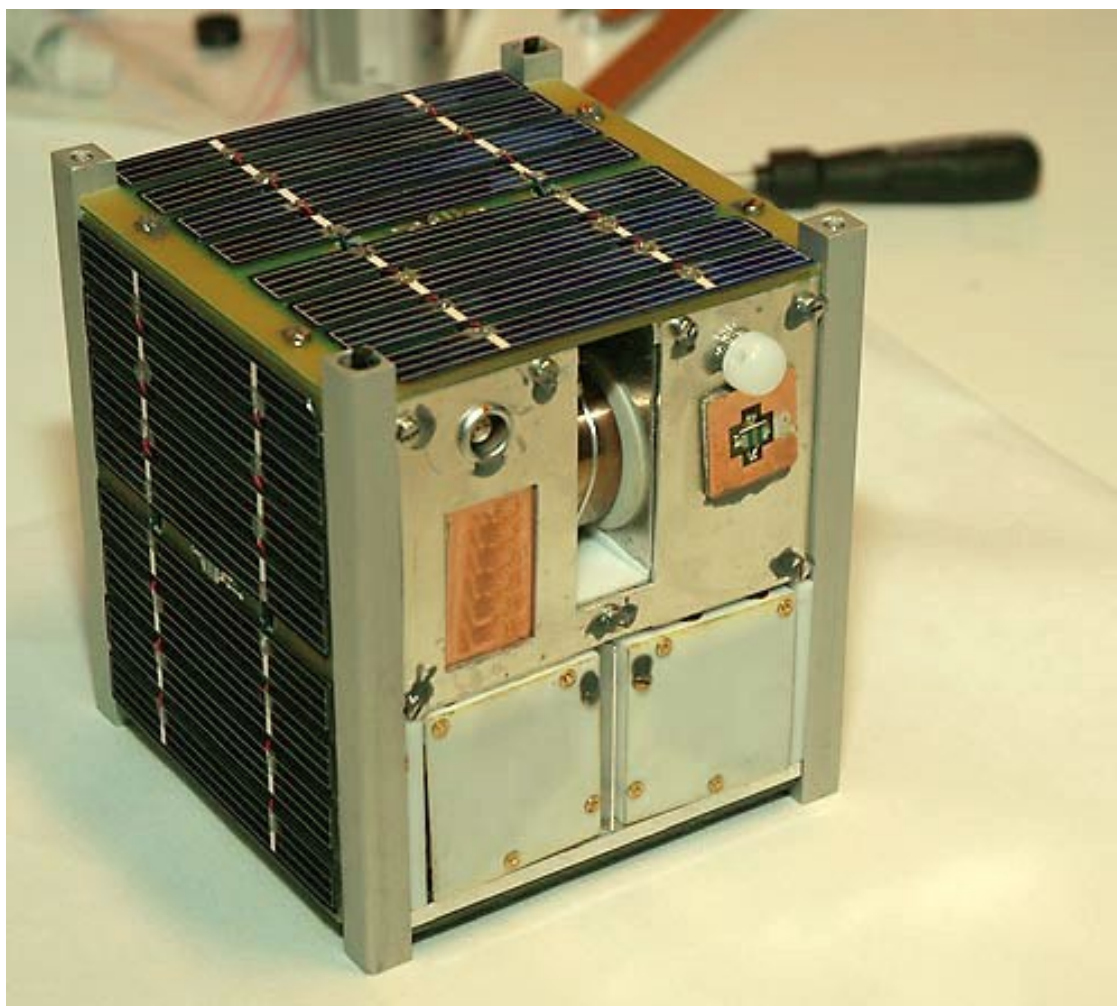
En 2012, INVAP S.E. tenía varios proyectos satelitales, con distintos niveles de avance, en la sala limpia que la compañía tiene en su sede de San Carlos de Bariloche. Ello demandaba la incorporación de nuevo personal, al tiempo que propiciaba la generación de nuevas capacidades tecnológicas. Entre estas se encuentran los aprendizajes en torno a la gestión de varios proyectos en simultaneo, el trabajo con distintas instituciones (CONAE, ARSAT S.A., Satellogic) y la vinculación con distintos tipos de proveedores de acuerdo a las exigencias de cada proyecto. En dicho escenario, INVAP S.E. asignó a Satellogic un espacio físico de trabajo y un equipo constituido por doce personas en total con el objetivo de iniciar el diseño del primer satélite.

En el proyecto de Satellogic trabajaron dos equipos que no solo tenían distinta formación, sino que no compartían un mismo marco tecnológico. Ello generó, en un inicio, fuertes contradicciones entre los profesionales de ambos grupos. Por un lado, estaban los responsables de Satellogic que establecían como principal requerimiento que los satélites se fabriquen en un tiempo reducido y a bajo costo. Por otro lado, estaban los ingenieros de INVAP S.E., quienes planteaban que el proyecto no era viable en los términos planteados por Satellogic (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 01 de agosto de 2023).

Uno de los puntos más conflictivos entre los equipos de INVAP S.E. y Satellogic estaba referido a la selección de los materiales e insumos de fabricación que iban a emplearse en los nuevos satélites. A diferencia de los artefactos que hasta entonces realizaba INVAP S.E. para CONAE y ARSAT S.A., Satellogic quería fabricar los satélites con insumos de fabricación masiva, es decir artefactos que podían comprarse en cualquier negocio de

venta al público (COTS por sus siglas en inglés *Commercial Off-The-Shelf*)⁸. Por lo tanto, estos no habían sido expuestos a los rigurosos procesos de revisión propios de la industria satelital, que imponían altos estándares de calidad. La decisión de comprar artefactos de calidad inferior estaba alineada a la idea de abaratar los costos. En ese sentido, Satellogic no priorizaba los principios básicos del sector, calidad y confiabilidad, sino el rinde económico.

Ilustración 20. Plataforma de un Cube-Sat



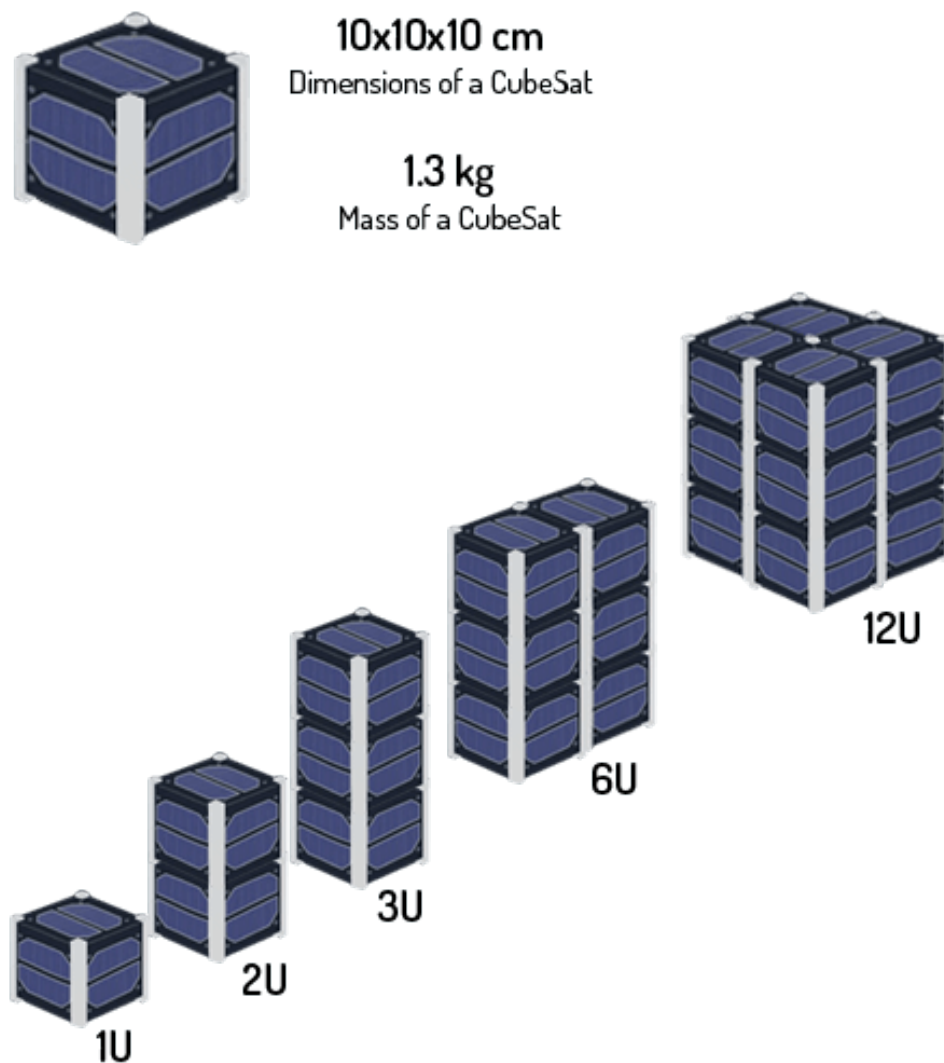
Fuente: [1U CubeSat Bus - plataforma de nanosatélites de alto rendimiento](#)

El incremento de las controversias entre los equipos escaló a tal nivel que fue necesaria la realización de algunas modificaciones entre los responsables del proyecto. Finalmente, INVAP S.E. designó un nuevo jefe de proyecto, junto a este cambio en la dirección del

⁸ <https://wpo-altertechnology.com/es/componentes-electronicos-comerciales-listos-para-usar/>

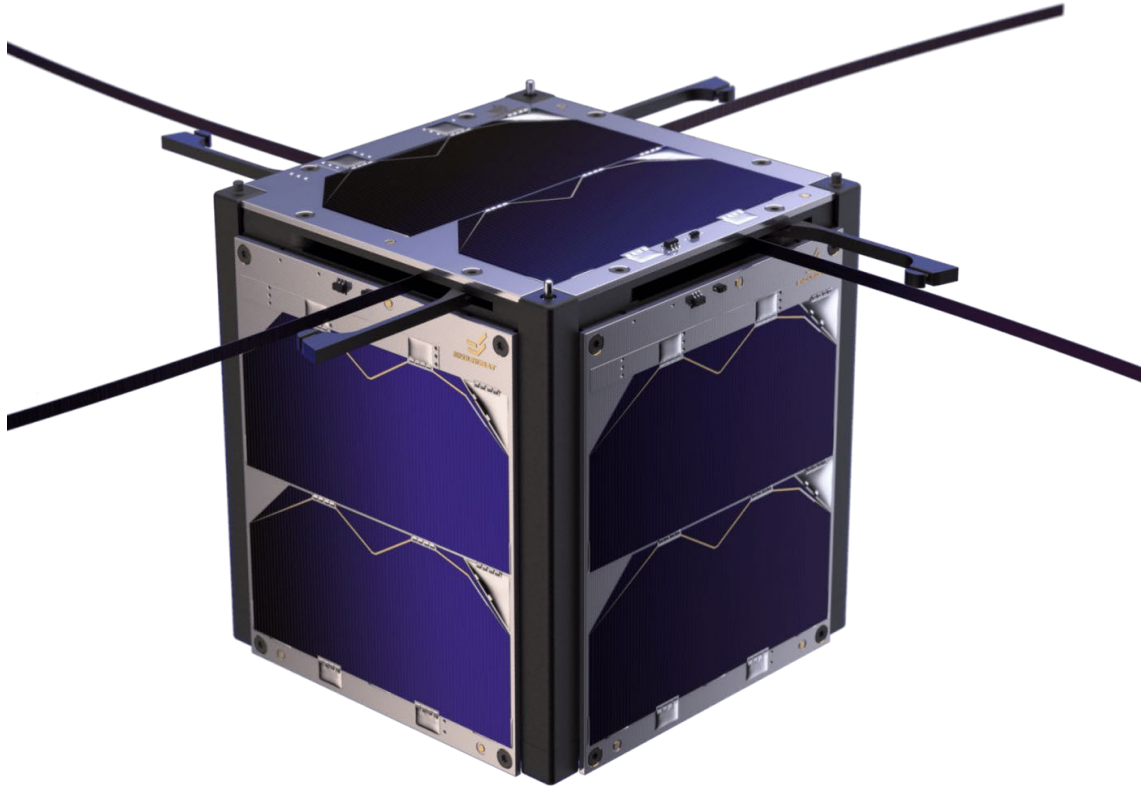
equipo de trabajo, y luego de participar en una conferencia sobre tecnología satelital en EE.UU. ambas empresas consensuaron la adopción del modelo Cube-Sat, o pequeños satélites (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 10 de marzo de 2023). El estándar Cube-Sat había sido desarrollado a fines de los años noventa entre la Universidad de Stanford y el Instituto Tecnológico de California en el marco de algunos proyectos satelitales educativos. Se trata de un formato de satélite pequeño en forma de cubo de 10x10x10 cm escalable en fracciones en cualquiera de sus dimensiones, incluso en fracciones menores a la unidad.

Ilustración 21. Dimensiones de una plataforma Cube-Sat



Fuente: <https://alen.space/es/guia-basica-de-nanosatelites/>

Ilustración 22. Estructura de una plataforma Cube-Sat



Fuente: [1U CubeSat Bus - plataforma de nanosatélites de alto rendimiento](#)

El formato nano se popularizó sobre todo por el uso de componentes COTS es decir, componentes que no son específicamente fabricados para uso espacial sino para uso comercial, pero que comienzan a ser probados de forma exitosa y documentada en misiones espaciales junto con una red de proveedores de subsistemas y sistemas integrados, muchos de ellos validados y con herencia de vuelo (Ozono, 2022).

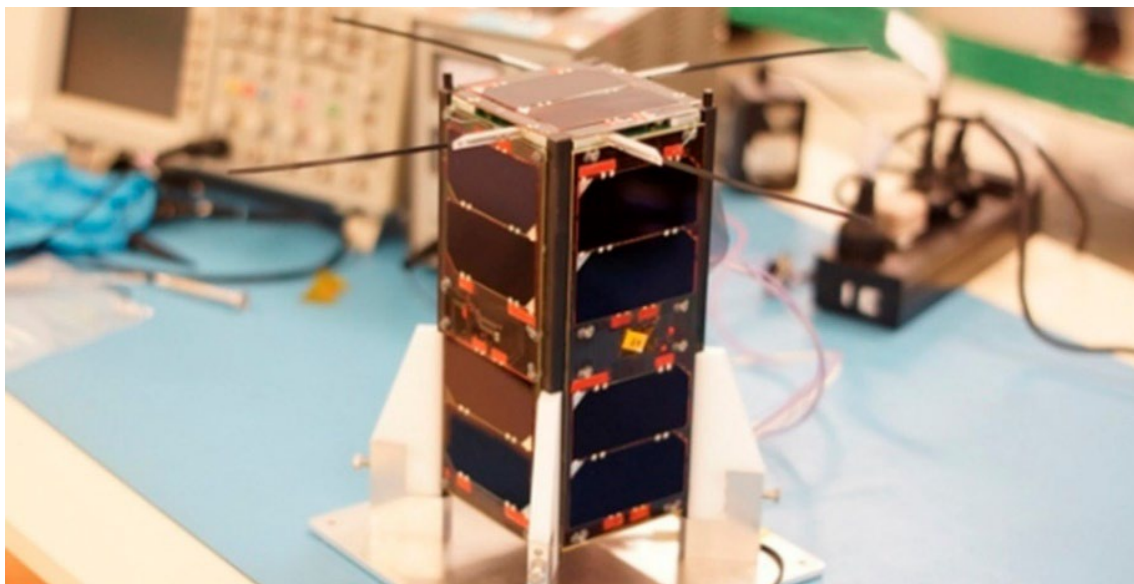
Más allá de la decisión de fabricar pequeños satélites de bajo costo, los responsables del proyecto pronto advirtieron que el presupuesto disponible -US\$ 1 millón- sería insuficiente para la compra de los insumos, el pago de los salarios, la puesta en operación de los artefactos, entre otros conceptos. Por lo tanto, el dueño de Satellogic recurrió al MinCyT con el objetivo de conseguir apoyos en sus ideas de desarrollar la tecnología Cube-Sat en Argentina y así democratizar el espacio. Para ello, al igual que en el pasado se valió de sus relaciones personales.

Los vínculos existentes entre Kargieman y Barañao posibilitaron que el MinCyT se interesara en el desarrollo de la tecnología Cube-Sat en el país. Si bien en un inicio el

fundador de Satellogic fue quien presentó el proyecto, INVAP S.E. y el Ministerio fueron quienes establecieron un acuerdo para la realización de un satélite de pequeñas dimensiones. A partir de la firma del convenio, INVAP S.E. se comprometió a aportar las instalaciones de la empresa en Bariloche y horas de trabajo, mientras el Ministerio aportó U\$S 6 millones iniciales. Dicho financiamiento se amplió en otros U\$S 4 millones tras la decisión de construir un segundo satélite (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 10 de marzo de 2023). Alineados a la idea de democratización del espacio, el convenio entre INVAP S.E. y el MinCyT estableció que el código de programación de los satélites y sus respectivos seguimientos estarían disponibles para toda la sociedad.

A partir del financiamiento del MinCyT y el trabajo conjunto de los equipos técnicos de INVAP S.E. y Satellogic se materializaron dos pequeños satélites: el primero bautizado Capitán Beto que fue lanzado al espacio el 26 de abril de 2013 desde el Centro Espacial de Jiuquan (China) y el segundo, llamado Manolito en referencia a un personaje de la historieta Mafalda que fue puesto en órbita el 21 de noviembre de 2013 (solo seis meses después del primer lanzamiento) desde la base de Yasny (Rusia).

Ilustración 23. El capitán Beto, primer satélite lanzado



Fuente: Satellogic, s/d

Ambos artefactos, diseñados y fabricados en las instalaciones de INVAP S.E., permitieron desarrollar algunos componentes (un sensor inercial, un prototipo de cámara y una CPU, los cuales no se podían comprar en el mercado) e integrar otros que carecían

de las certificaciones propias de la industria espacial. En ese sentido, estos dos primeros Cube-Sat constituyeron prototipos mediante los cuales los ingenieros argentinos de INVAP S.E. y Satellogic adquirieron nuevas capacidades tecno-productivas.

Los ingenieros de INVAP S.E. que participaron en el diseño y fabricación de Capitán Beto y Manolito modificaron sus dinámicas de trabajo y adoptaron metodologías ágiles, las cuales comprenden un conjunto de técnicas aplicadas en ciclos de trabajo cortos con el objetivo de volver más rápidos y eficientes los procesos de desarrollo de un proyecto complejo. Por su parte, los profesionales de Satellogic adquirieron conocimientos y capacidades sobre el ciclo de producción de un satélite.

En síntesis, en el desarrollo de Capitán Beto y Manolito se combinaron de manera sinérgica tres procesos cognoscitivos que favorecieron la generación de capacidades tecnológicas: el aprendizaje formal basado en la absorción de conocimientos explícitos; la experiencia acumulada (conocimientos tácitos) a partir de la práctica efectiva; y la interacción entre ingenieros y profesionales técnicos con conocimientos específicos en distintas áreas productivas con la consecuente circulación de los mismos.

Del distanciamiento con INVAP S.E. a la creación de una sala limpia en Buenos Aires

Según el Plan Espacial Nacional, CONAE es el organismo especializado y con injerencia en todos los asuntos relativos a la explotación y uso del espacio en Argentina. Sin embargo, la agencia espacial nacional en un principio desconocía el proyecto de Satellogic y los avances que se llevaban adelante en las instalaciones de INVAP S.E. (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 10 de marzo de 2023).

Durante el proceso de diseño y fabricación de los dos prototipos, INVAP S.E. y Satellogic fueron los actores involucrados en el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, la puesta en órbita de tales tecnologías implicaba la realización de una serie de trámites administrativos a nivel internacional que volvía necesario el involucramiento de la agencia espacial argentina. CONAE era la entidad responsable de registrar los artefactos ante la UIT y la Organización de Naciones Unidas (ONU), además de gestionar las frecuencias del espectro electromagnético en las que los satélites estarían operativos.

El conocimiento tardío que las autoridades de CONAE tuvieron del proyecto Cube-Sat y la superposición de las responsabilidades de hecho entre las entidades involucradas en la explotación del espacio produjo que la agencia espacial nacional construyera un significado negativo respecto de la misión de Satellogic. A ello se sumaron las pretensiones que tenía la empresa de fabricar satélites de una forma completamente ajena a los estándares del sector.

Habíamos avanzado con la estación terrena de Córdoba para instalar una facilidad de seguimiento de Cube-Sats, pero eso no prosperó porque si bien la gente de la estación terrena no puso oposición, después de más arriba les dijeron: 'no pierdan tiempo con esas cosas' (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 10 de marzo de 2023).

La falta de involucramiento de la agencia espacial nacional en el proyecto Cube-Sat no solo quedó en el plano discursivo, sino que generó inconvenientes en el registro internacional de los satélites. Como manifestación de esto último puede mencionarse que Manolito no fue inscripto como un objeto lanzado al espacio ultraterrestre por Argentina (Trabajador N°1 de Satellogic, entrevista personal, 17 de enero de 2023).

En paralelo a la falta de interés que CONAE mostraba en el proyecto Cube-Sat, Satellogic comenzó a tener algunas diferencias con el equipo de profesionales de INVAP S.E. que derivaron primero, en un resquebrajamiento de las relaciones, y luego llevarían al alejamiento entre ambas empresas. Del lado de INVAP S.E., la gerencia general y varios de los ingenieros del área de negocios espacial no estaban de acuerdo con el desarrollo del proyecto Cube-Sat, por lo que solo un grupo reducido apoyado por Tulio Calderón trabajaban en el mismo. Del lado de Satellogic, Kargieman si bien consideraba necesaria la vinculación con INVAP S.E. para llevar adelante los primeros satélites, pretendía que en un mediano plazo la empresa no dependiera de ninguna entidad u organismo estatal.

Pese a la existencia de intereses contrarios, INVAP S.E. y Satellogic trabajaron en conjunto por casi dos años. La vinculación personal de Emiliano Kargieman y Tulio Calderón, así como el interés de este último en el proyecto Cube-Sat fueron claves en la gestión de un grupo de trabajo y la resolución de problemas en su interior. Tras la puesta en órbita del segundo satélite y la posterior finalización del convenio firmado entre

INVAP S.E. y el MinCyT, las relaciones entre las distintas instituciones involucradas en el proyecto se disolvieron formalmente.

No puedo olvidar la primera sala limpia en nuestras oficinas de la calle Roseti. Era un ático sin usar, sucio y desmoronándose. Fuimos con Emiliano a Easy (una gran ferretería para el hogar) para comprar unas mesas y láminas de plástico para envolver todo y construir el cuarto limpio casero. Creo que el cajero pensó que estábamos metidos en un asunto desagradable (Vilaseca, 2022).

Yo llevé unos instrumentos que tenía de Multiradio S.A. a las instalaciones que tenía Satellogic en la calle Roseti y le medimos la potencia de salida, es decir calibramos la tabla de 0-256 para saber que potencia tenía el transmisor (Trabajador N°1 de Satellogic, comunicación personal, 17 de enero de 2023).

Los responsables de Satellogic, tras la desvinculación con INVAP S.E., definieron que la sede de la empresa estaría ubicada en el barrio de Chacarita, provincia de Buenos Aires. Las oficinas y los laboratorios se construyeron en una casa de la calle Roseti, similar a las típicas 'empresas de garaje' de Silicon Valley. La casa pensada para la vivienda de personas, carecía de algún cuarto con los estándares propios de las salas limpias que las grandes empresas destinan a la fabricación de los satélites. A pesar de ello, los fundadores de Satellogic establecieron un espacio para la construcción de los artefactos que fue acondicionado mediante materiales adquiridos en negocios de consumo masivo. Posteriormente, los responsables de Satellogic continuaron con los trabajos vinculados a la operación y recepción de telemetría del satélite Manolito.

Las citas anteriores ponen de manifiesto no solo que quienes dirigían Satellogic eran marginales al marco tecnológico satelital, sino que, en su afán de revolucionar el acceso al espacio, construían significaciones que ridiculizaban la complejidad de la producción de satélites.

La referencia a la compra de insumos para construir y/o acondicionar una sala limpia apta para la fabricación de componentes espaciales en un negocio de consumo masivo constituye, al menos, una exageración retórica. Dicho comercio carece de los instrumentos mínimos necesarios incluso para la fabricación de artefactos de baja

complejidad, como una bicicleta, por lo que difícilmente podría ser un sitio adecuado para el suministro de componentes y subsistemas de vuelo.

En este sentido, resulta clave enfatizar que el diseño y la fabricación de nanosatélites, aunque incluyen componentes de bajo costo –comparados con los utilizados en los grandes proyectos públicos–, son desarrollados por proveedores especializados que, mediante diversas estrategias, adaptaron artefactos comerciales a las condiciones del espacio exterior, como se verá más adelante.

3.4. El diseño y fabricación de los primeros nano-satélites

La decisión de Satellogic e INVAP S.E. en cuanto a diseñar y fabricar nano-satélites implicó una alteración tanto en los procesos de trabajo como en las formas y dinámicas estabilizadas en la industria satelital nacional. En este apartado se abordan los siguientes interrogantes: ¿Qué diferencias había entre la fabricación de los SAC y los artefactos del proyecto Cube-Sat? ¿Se registraron cambios en cuanto a los proveedores? ¿Qué capacidades existentes fueron claves para el desarrollo del proyecto? ¿Qué nuevas capacidades se generaron a partir de la materialización del proyecto Cube-Sat?

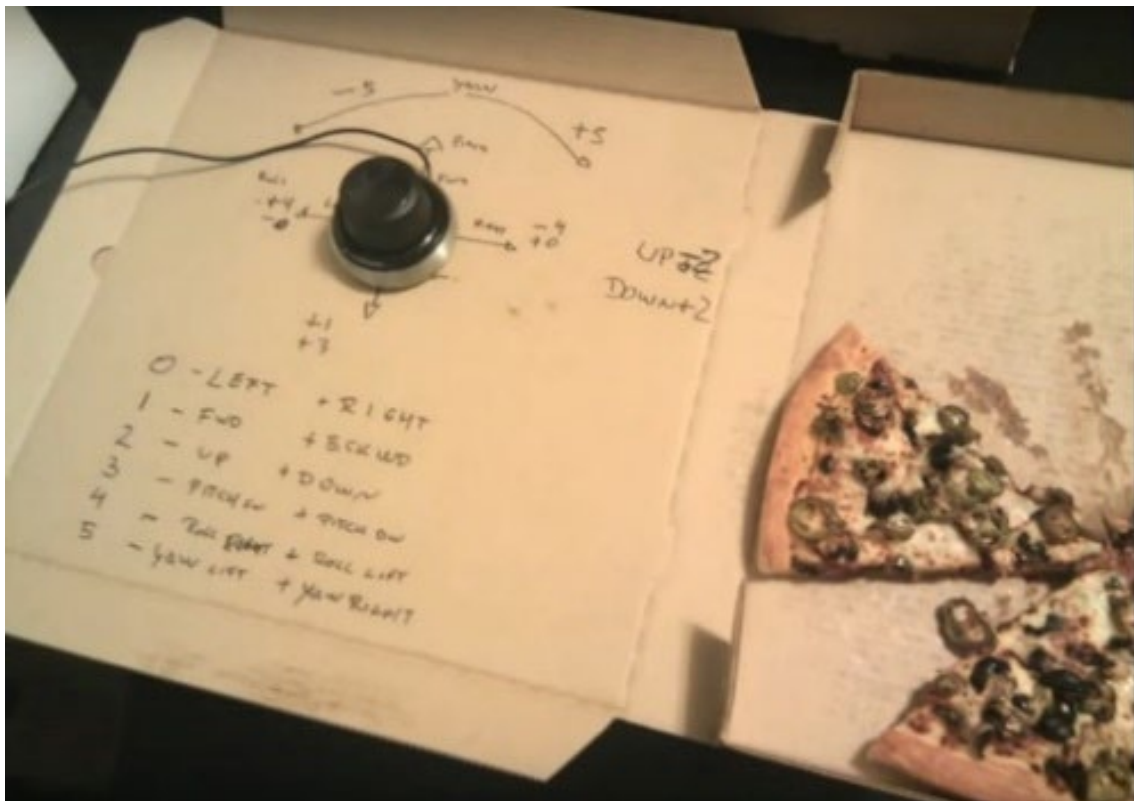
Para empezar a responder los interrogantes previos, cabe mencionar que la plataforma de los nano-satélites (Capitán Beto y Manolito), la estructura y el subsistema de control orbital eran similares a los que habían sido empleados en los grandes satélites que INVAP S.E. realizó para CONAE. También era similar el proceso de integración de los subsistemas y componentes, así como la campaña de ensayos ambientales a los que eran sometidos los artefactos de forma previa al lanzamiento. Sin embargo, había algunas diferencias significativas. Los Cube-Sat diferían de los grandes satélites debido a que los primeros contenían algunos componentes con alta disponibilidad en el mercado y de costos reducidos.

El requerimiento principal que sustentaba la misión de los Cube-Sat era reducir los costos de fabricación y lanzamiento, por lo que los ingenieros de Satellogic abogaban por no desarrollar ningún artefacto que pudiera comprarse de manera irrestricta en el mercado. “Varias cosas que eran críticas para el diseño de los satélites finales volaron en esos Cube-

Sat con componentes *low cost*” (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 4 de agosto de 2023).

En base al principio que sustentaba los proyectos Cube-Sat, Satellogic e INVAP S.E. diseñaron y fabricaron unos pocos subsistemas y/o componentes, entre los cuales estaban la carga útil, un sensor inercial, un prototipo de cámara y una CPU. Esta última estaba basada en un dispositivo concebido originalmente para aplicaciones de transporte en trenes, autos y aviones, por lo que no contaba con el tratamiento requerido para soportar los niveles de radiación existentes en el espacio. Sin embargo, los ingenieros no consideraron ello un problema, puesto que la CPU contaba con dos microprocesadores sincronizados lo que le otorgaba cierta redundancia. Es decir, el dispositivo funcionaría en el espacio más allá de la radiación, pues ante la degradación de uno de los microprocesadores, el otro actuaría en su reemplazo extendiendo de esa forma la vida útil a tres años (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 4 de agosto de 2023).

Ilustración 24. Primeros prototipos hechos sobre una caja de pizza



Fuente: TEDxRíodelaPlata, 2013

El equipo de Satellogic no estaba inserto en el marco tecnológico de los ingenieros satelitales, por lo que no trabajaban con las normas de calidad del sector. Los ingenieros de INVAP S.E. diseñaban y fabricaban los últimos satélites de la serie SAC, los SAOCOM y los ARSAT en una sala limpia con el fin de evitar la contaminación de los artefactos con partículas de polvo. A diferencia, el personal de Satellogic trabajaba en espacios inadecuados para el estándar espacial. La ilustración precedente visibiliza que el diseño y análisis de algunos pequeños prototipos se realizaron simultáneamente a tareas vitales como puede ser la ingesta de alimentos.

Ilustración 25. David Vilaseca en las instalaciones de Roseti



Fuente: Satellogic, s/d

La manipulación de los artefactos al interior de la sala limpia implicaba el uso de un conjunto esterilizado que comprendía un cobertor de cabello, mascarilla médica, pantalón, chaqueta, cubre zapatos y guantes. Además, con el fin de evitar la contaminación cruzada existían ciertos protocolos, entre los que estaban:

Nada de maquillaje, uñas pintadas, joyas o piercings; no se permite el acceso a la zona controlada con teléfonos, ordenadores privados u otros dispositivos electrónicos privados; **no se permite introducir en la zona controlada ropa personal, comida o bebida**; y debe cumplirse con un alto nivel de higiene personal y estricto cumplimiento de los requisitos de las técnicas correctas de lavado y desinfección de manos (Isobox System sl, s.f., el subrayado es propio).

Las ilustraciones 24 y 25 pone en evidencia que los profesionales de Satellogic, cuando trabajaban fuera de las instalaciones de INVAP S.E. no seguían las normativas del sector. Ello se debía a que el riesgo era significado de forma diferenciada entre ambos equipos de trabajo.

Los chicos de Satellogic no conocían la palabra riesgo en ningún idioma, eran kamikazes de pura cepa, de hecho, para el primer Cube-Sat [Capitán Beto] **algunas cosas que deberían haber probado no pudieron hacerlo, pero porque para ellos la prioridad era la fecha de lanzamiento** y la publicidad de tener algo orbitando. Eso si hubiera sido en INVAP hubiera demorado tres o cuatro meses el lanzamiento (Trabajador N°6 de INVAP, entrevista personal, 15 de mayo de 2024. El subrayado es propio).

Para INVAP S.E. el control de riesgos era un aspecto clave en la industria satelital que permitía garantizar el funcionamiento del artefacto a lo largo de su vida útil. Para Satellogic, el control de riesgos estaba subordinado a otros intereses, tales como el cumplimiento del cronograma de trabajo, la fecha de lanzamiento, entre otros. Ello generó que, en varias ocasiones algunos hitos del proceso productivo (ensayos) no se llevaran a cabo.

Si bien en retrospectiva Satellogic logró poner en órbita y de forma exitosa una constelación de nano satélites, la conducta *punk* que guió la fabricación de los dos primeros prototipos fue solo temporal. Como se verá en el siguiente capítulo de esta

investigación, la producción en serie exigió no solo profesionales con capacidades propias del sector espacial, sino también instalaciones adecuadas a los estándares de la industria, componentes aptos para operar en el espacio exterior -aunque de menor costo- y la adopción de algunas metodologías compartidas por quienes se encuentran incluidos dentro del marco tecnológico satelital, como la gestión de riesgos y la gestión de calidad.

Los directores de la empresa además de desafiar los estándares de la industria satelital, sostenían una visión financiera y cortoplacista que los llevó a equiparar la producción de satélites con la industria del software. Aunque esta analogía les permitió plantear problemas y soluciones innovadoras en relación a las prácticas estabilizadas en el sector espacial, resulta inadecuada. La performance de un satélite no puede compararse con la de un artefacto que no se encuentra expuesto a las normas de la física -como la fuerza de rotación de la Tierra, la fuerza de gravedad, la radiación solar, entre otras- y que, ante cualquier fallo, cuenta con asistencia directa a través del acceso a los servidores.

Un satélite opera en condiciones ambientales extremas, por lo que no solo cada componente, subsistema y sistema en general debe ser testeado, sino que requiere que el equipo de operaciones planifique procedimientos preventivos y/o correctivos ante la emergencia de posibles contingencias. Además, la asistencia técnica en caso de fallos se limita a la ejecución de comandos en una computadora ubicada a varios -incluso miles de- kilómetros de distancia del artefacto.

En este contexto, la actitud temeraria que caracterizó a Satellogic durante la fabricación de sus primeros prototipos fue propia de un grupo de actores que desconocían la estructura y dinámica de la industria satelital.

Problema-solución como instancia de producción de nuevas capacidades

Durante las fases de diseño y fabricación, los ingenieros de Satellogic e INVAP S.E. se enfrentaron a ciertos problemas técnicos y no-técnicos que exigieron la búsqueda de diversas soluciones. Dicha dinámica posibilitó el desarrollo de nuevos conocimientos y capacidades tecnológicas. En este apartado se seleccionaron algunos hechos estilizados con el fin de construir inteligibilidad sobre los procesos de producción de conocimientos y la generación de capacidades tecnológicas.

Durante la fase de diseño los ingenieros debían seleccionar a las empresas proveedoras de los distintos sistemas, subsistemas y componentes. Dado que los requerimientos que orientaban las misiones Cube-Sat eran diferentes respecto de los grandes satélites, fue necesaria la búsqueda de nuevos proveedores. En general, las empresas que participaron en la provisión de partes para Capitán Beto y Manolito no eran actores con quienes INVAP S.E. o CONAE habían mantenido vínculos previamente. Por el contrario, eran empresas con diferente nivel de experiencia en el desarrollo de artefactos espaciales que los fundadores de Satellogic habían contactado en una conferencia de nano-satélites realizada en EE.UU.

Entre las firmas extranjeras estaba ISISPACE⁹ (Países Bajos), una empresa encargada de la provisión de la estructura y el adaptador necesario para incorporar el satélite al vehículo lanzador; GOMSPACE¹⁰ (Dinamarca) que suministró el control de potencia; y CLYDE SPACE¹¹ (Escocia) quien proveyó el procesador central (Trabajador N°6 de INVAP, entrevista personal, 15 de mayo de 2024).

Además de los proveedores internacionales, también participaron algunas pequeñas y medianas empresas privadas de capital nacional: Mecánica 14 (M14), responsable de realizar trabajos de micro mecanizado; Emtech, encargada de diseñar la electrónica digital de los sensores; y Florestan, dedicada a la producción de las ruedas de inercia. Todas estas empresas radicadas en la ciudad de San Carlos de Bariloche contaban con amplia experiencia en el campo espacial, puesto que habían participado de las misiones satelitales lideradas por CONAE e INVAP S.E. (López, Pascuini y Álvarez, 2021).

La selección de los proveedores estuvo alineada con la idea de fabricar el satélite con bajos costos. Sin embargo, ello fue imposible de sostener debido a diversos factores externos, entre los cuales se destaca el ordenamiento geopolítico mundial que establecía

⁹ ISISPACE se fundó en enero de 2006 como una derivación del proyecto Delfi-C3 de la Universidad Tecnológica de Delft (Países Bajos), orientado a la construcción de un nano-satélite.

¹⁰ GOMSPACE es un fabricante y proveedor de pequeños satélites o Cube-Sat fundado en 2007 con sede en Aalborg (Dinamarca), el centro de operaciones en Luxemburgo y oficinas y centros de desarrollo en Francia, Suecia y América del Norte.

¹¹ CLYDE SPACE es una compañía fundada en 2005 en Glasgow adquirida por la compañía AAC Microtec, también creada el mismo año en Uppsala. Ambas constituyeron en 2019 la marca AAC CLYDE SPACE dedicada a la fabricación de componentes avanzados para satélites.

qué países podían desarrollar ciertas tecnologías y cuáles estaban excluidos de ello (Blinder y Hurtado, 2019).

Uno de los primeros problemas que se registraron en el proceso de fabricación se produjo por las normativas (codificadas o tácitas) que regulan el mercado de tecnologías sensibles. Los responsables del proyecto habían decidido utilizar materiales COTS por lo que decidieron comprar los paneles solares de la plataforma por Internet a la empresa Clyde Space del Reino Unido. Más allá de la rareza que puede ocasionar la demanda de componentes de alta complejidad y de importancia clave en una misión satelital a través de un sitio de compras online, la controversia se produjo debido a la prohibición que tuvo la empresa británica para cumplir con lo solicitado. Cuando solo quedaban tres meses para el lanzamiento de Capitán Beto, el gobierno del Reino Unido obstaculizó el envío de los paneles porque los consideraban tecnología sensible (Trabajador N°6 de INVAP, entrevista personal, 15 de mayo de 2024).

El personal de INVAP S.E. ante la negativa de Reino Unido, recomendó que el Departamento de Energía Solar de la CNEA fuese el responsable de la provisión de los paneles solares. INVAP S.E. conocía las capacidades del Departamento debido a que dicho centro de I+D había integrado los paneles solares de los satélites SAC-A, parte de los paneles del SAC-C y del SAC-D lanzados por INVAP S.E. y CONAE (Cáceres, 2024). Por lo tanto, todo el proceso de diseño, fabricación, integración y pruebas de los paneles solares para Capitán Beto fue hecho en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes pertenecientes a la CNEA.

Para el armado de los paneles, el Departamento de Energía Solar utilizó celdas solares de triple juntura (ATJ) marca EMCORE de descarte tipo MV (con defectos mecánicos o visuales) de aproximadamente 76 x 37 mm con diodo de paso de silicio en cada celda. (Trabajador N°1 de CNEA, comunicación personal, 21 de marzo de 2023).

Además de los problemas geopolíticos, el proyecto Capitán Beto se vio afectado por problemas en territorios extranjeros. Durante la fase de diseño, los responsables decidieron que una empresa de origen holandés, ISILAUNCH (rama de ISISPACE dedicada a los lanzamientos) sería la encargada de llevar adelante la logística del lanzamiento. Entonces, esta empresa contrató un lanzador de origen ruso debido a los bajos costos. Sin embargo, ciertos retrasos en el cronograma ocasionados por problemas

internos de Rusia que eran quienes operaban el vehículo lanzador generaron disconformidad en Satellogic debido a que se alterarían los planes de tener un primer satélite en el espacio. Entonces, entre Satellogic y la empresa ISILAUNCH decidieron que, para no demorar el lanzamiento, la Agencia Espacial China fuese la responsable del lanzamiento. Dicha decisión se sostuvo en los costos comparativamente bajos que ofrecía la agencia china respecto a otras empresas dedicadas a la prestación de los mismos servicios (Trabajador N°6 de INVAP, entrevista personal, 15 de mayo de 2024). Capitán Beto se lanzó al espacio en 2013 desde el Centro Espacial de Jiuquan en China, mediante el cohete chino CZ-2D-LongMarch 2.

Un año después, Manolito se lanzó desde la base Yasny de Rusia debido a que este país había resuelto los inconvenientes y normalizado su plataforma de lanzamiento. Por lo tanto, Satellogic e ISILAUNCH prosiguieron el contrato original que se había firmado con los lanzadores rusos.

La decisión de Satellogic de cambiar a la agencia responsable del lanzamiento, un eslabón crítico en la cadena de producción satelital, ante un retraso en el cronograma, contrasta con el accionar de CONAE y ARSAT S.A. Durante el desarrollo de los satélites de la serie SAC y ARSAT 1 y 2 se registraron numerosos problemas y aplazamientos que alteraron la planificación inicial. Si bien tales demoras no estuvieron vinculadas a problemas internos de las empresas prestadoras del servicio de lanzamiento, ninguna de las partes involucradas presionó para la adopción de una nueva estrategia, la suspensión y/o disolución del contrato firmado.

El cambio de la agencia encargada del lanzamiento de Capitán Beto, en tanto hecho estilizado, permite afirmar que Satellogic desarrolló una estrategia flexible y pragmática, capaz de adaptarse a distintas circunstancias y/o escenarios cambiantes de manera ágil. Ante la emergencia de un problema, Satellogic priorizó aquellas soluciones que estuvieran principalmente orientadas a reducir los tiempos y costos de una misión.

El desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas

El diseño, fabricación y puesta en operación de los dos primeros nanosatélites favorecieron la generación de nuevas capacidades tecnológicas, tanto en Satellogic como

en INVAP S.E. Para detectar y controlar a Capitán Beto, Satellogic firmó un Convenio con AMSAT-AR y el Radio Club de Radioaficionados Bariloche (ubicado en el ingreso de dicha ciudad), espacio donde colocaron los equipos de teledetección y la antena direccional con su mecanismo de seguimiento. En dicho convenio se especificó que los radioaficionados eran responsables de gestionar ante la UIT el registro del objeto espacial y la utilización de las bandas de frecuencias.

Ilustración 26. Emiliano colocando la antena para seguir a Beto en el radio club de Bariloche



Fuente: Trabajador N° 8 de INVAP, 2013

Satellogic, meses después armó otra estación terrena en el aeropuerto de Bariloche, específicamente en el sector que INVAP S.E. tenía destinado a la experimentación de

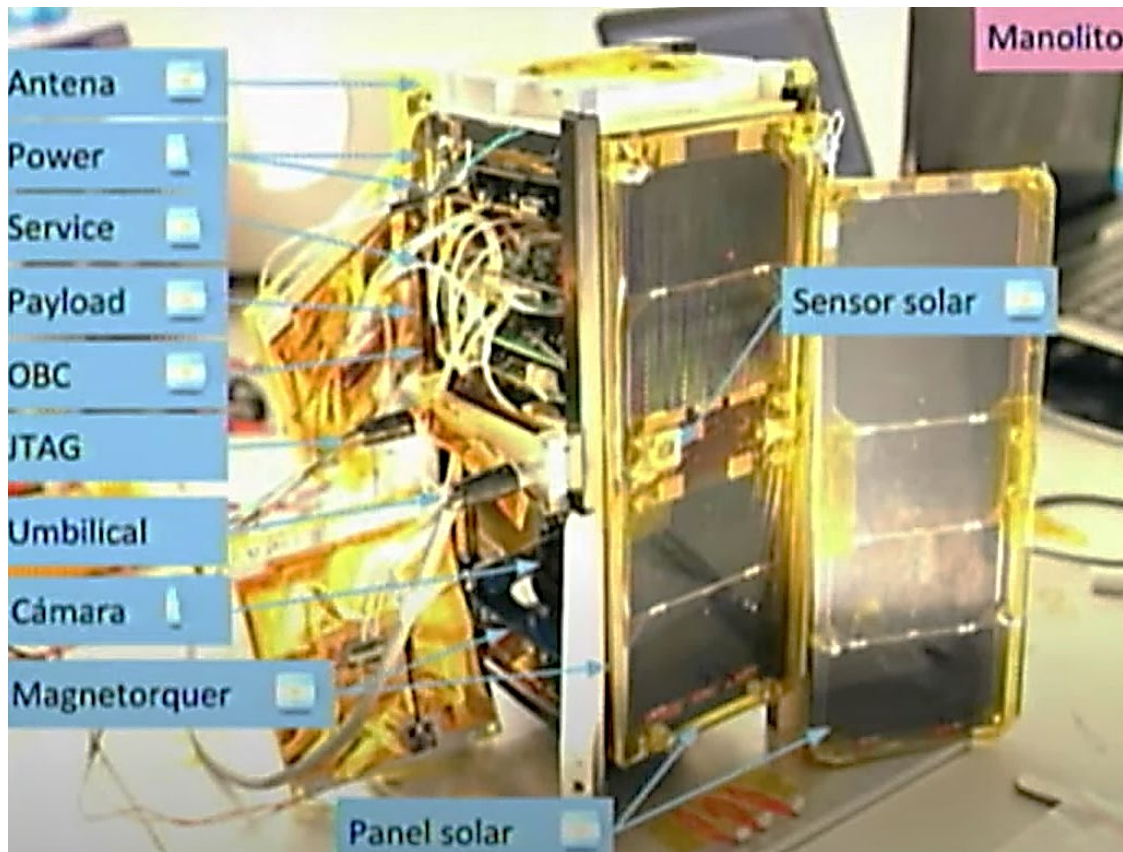
radares. Ello incrementó las capacidades materiales con que contaban las empresas para realizar el seguimiento de los satélites (Trabajador N°6 de INVAP, comunicación personal, 1 de agosto de 2023).

La materialización del primer Cube-Sat permitió la incorporación de nuevos conocimientos entre todos los involucrados en el proceso productivo. El personal de Satellogic adquirió saberes específicos asociados a los procesos de diseño y fabricación de un objeto espacial. Por su parte, el personal de INVAP S.E. incrementó las capacidades disponibles, puesto que se enfrentaron con requerimientos distintos a los exigidos hasta entonces por CONAE.

Manolito es la continuación de Beto. Con el primero, el objetivo era aprender a hacer un satélite, y con el segundo, buscamos mejorarlo y reemplazar las partes importadas. Le arreglamos el problema que tenía con la radio y la estación terrena. Diseñamos mejores procesadores que los que tenía, lo que mitiga los riesgos de manera que, si hay problemas con una computadora a bordo, una se puede apoyar en la otra. Mejoramos los sensores. Le pusimos un GPS que, si funciona, irá en el próximo cohete. Dimos un pasito más en algunas cosas que habíamos hecho aprendiendo e integrando (G. Richarte, citado en Página12, 2013).

Dado que en términos técnicos los dos primeros CubeSat eran similares, el proceso de diseño, fabricación y puesta en operación de Manolito se basó en la acumulación de conocimientos previos. Si bien INVAP S.E. y Satellogic replicaron el proceso productivo del primer CubeSat, consideraron viable la incorporación de algunas mejoras técnicas, así como un incremento en los subsistemas y/o componentes de origen nacional. Para ello evaluaron las capacidades existentes y decidieron fabricar los subsistemas con componentes y mano de obra nacionales en el siguiente porcentaje: panel y sensor solar, antena, magnetómetros, computadora de abordo (OBC, *On Board Computer* por sus siglas en inglés) y la carga útil en un 70%; el módulo de servicio en un 60%; el subsistema de potencia en un 30% y la cámara en un 15% tal como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Ilustración 27. Componentes de Manolito



Fuente: Ekoparty Security Conference, 2013

Además, ante la presencia de nuevos problemas, el personal de INVAP S.E. y Satellogic ensayaron nuevas soluciones tecnológicas que derivaron en la generación de nuevas capacidades. Ante la necesidad de incluir sensores fotovoltaicos más eficientes, las empresas junto al Departamento de Energía Solar de la CNEA adecuaron los sensores solares gruesos y los integraron en el nanosatélite Manolito. Por otro lado, ante la resolución del conflicto con Reino Unido, los profesionales del Departamento fabricaron los paneles solares del satélite a partir del uso de celdas propias y otras provistas por Clyde Space (Trabajador N°1 de CNEA, comunicación personal, 21 de marzo de 2023).

Manolito representó una continuidad respecto a Capitán Beto, pero ambos satélites mantuvieron especificidades técnicas diferenciadas. En cuanto a dimensiones y peso. Ambos artefactos fueron similares, con una estructura cuboidea de 20x20x40 centímetros y 2 kilogramos de masa.

Tabla 3. Cuadro comparativo de características técnicas de Beto y Manolito

Características técnicas	Capitán Beto	Manolito
Dimensiones	20x20x40 cm	20x20x40 cm
Masa	2 kg	2 kg
Sensor estelar	Florestan y EMTECH	Florestan y EMTECH
Sensores solares gruesos	S/D	CNEA
Computadoras	2 COST marca Gumsti 1 ARM de diseño propio	1 COST 2 ARM de diseño propio
Cámaras	1 rango visible	1 rango visible de 25 mpx
Rueda de inercia	Florestan	UNLP
GPS	S/D	UNLP
Potencia	Sistema COST	S/D
Paneles Solares	CNEA	CNEA (30%) Clyde Space (70%)
Comunicaciones	Radio UHF/VHF y sistema COST	Radio UHF/VHF y sistema de antena de diseño propio

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Eduardo Ibáñez, INVAP S.E.

En cuanto a la carga útil, ambos satélites presentaban un diseño similar. Sin embargo, Manolito presentaba una mayor cantidad de componentes diseñados y fabricados en Argentina, entre los cuales estaban los sensores solares gruesos que establecían la posición del satélite en el espacio; las computadoras de abordó; la rueda de inercia y un sistema de posicionamiento global, estos últimos fabricados por la Universidad Nacional de La Plata.

La aviónica de los nanosatélites presentó en parte una dinámica similar. Mientras el subsistema de comunicaciones del primer CubeSat había sido comprado en el mercado, el del segundo fue un desarrollo propio. Por su parte, en los paneles solares, uno de los artefactos centrales del subsistema de potencia, se visibilizaron las interacciones que las empresas argentinas tenían con sus pares internacionales. Los paneles de Capitán Beto

fueron diseñados y construidos en CNEA, puesto que impedimentos geopolíticos obstaculizaron la compra de las celdas fotovoltaicas en el mercado. A diferencia, los paneles de Manolito solo incluían un 30% de celdas de fabricación nacional, el resto fueron compradas a Clyde Space debido a los conocimientos previos que existían entre las empresas.

La decisión de fabricar un micro satélite: Tita

En base a las capacidades adquiridas en el desarrollo de Capitán Beto y Manolito, Satellogic comenzó a diseñar y fabricar un tercer artefacto, pero de mayores dimensiones. Para ello, la empresa se enfrentó a dos inconvenientes. Primero, el reducido número de personal especializado, por lo que fue necesaria la contratación de nuevos profesionales. Y segundo, las instalaciones de la calle Roseti eran inadecuadas en términos de tamaño, por lo que los responsables de la empresa decidieron trasladar el sector de ingeniería a una vivienda ubicada en la calle Scalabrini Ortiz, en el barrio de Palermo. Allí, instalaron una sala limpia, espacio en el que se integró el siguiente satélite de la compañía.

Ilustración 28. Tita en la sala limpia de Scalabrini Ortiz



Fuente: gearthblog, s/d

El tercer artefacto que desarrolló Satellogic fue un micro satélite¹² de 22 kilogramos de masa, denominado BugSat-1 pero renombrado “Tita” en honor a la actriz, vedette y cantante argentina Tita Merello. Este satélite de forma cuboidea contaba con un sistema de cámaras multispectrales de diseño propio. El objetivo de la misión fue probar tales cámaras en el espacio y adquirir capacidades para los siguientes proyectos: BugSat-2 y la primera constelación de satélites que prestara servicios de observación (E. Kargieman citado en mactres.com, 2014).

Tabla 4. Características técnicas de Tita

Características técnicas	Tita
Dimensiones	50x50x27.5 cm
Masa	22 kg
Sensor estelar	Florestan y EMTECH
Sensores solares gruesos	CNEA
Computadoras	6 ARM de diseño propio
Cámaras	1 sistema multispectral de rango medio
Rueda de inercia	Diseño propio
Sistema de propulsión	ITBA
Potencia	Sistema COST
Paneles Solares	CNEA
Comunicaciones	1 antena en banda S 1 antena de GPS 1 antena en UHF

Fuente: elaboración propia en base a <https://diariohoy.net/interes-general/tita-el-nuevo-mini-satelite-que-nos-saca-fotos-desde-el-espacio-29952#>,
https://space.skyrocket.de/doc_sdat/bugsat-1.htm, <https://www.mactres.com/bugsat1.html>,
<https://db.satnogs.org/satellite/GPLA-1467-3987-8284-6460>

¹² Los micro satélites son aquellos artefactos que se encuentran en el rango de los 10-100 kilogramos de masa.

Además de las cámaras de resolución media, Tita poseía tres antenas, cuatro ruedas de inercia y un sistema de propulsión de diseño propio, este último desarrollado en colaboración con un grupo de investigadores del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA). Por su parte, los sensores solares gruesos fueron diseñados por el Departamento de Energía Solar de la CNEA al igual que en los satélites anteriores.

Ilustración 29. Comparación de un nanosatélite y un microsatélite



Fuente: Ingrassia, 2019

Para la integración de los paneles solares, Satellogic compró cien celdas fotovoltaicas y el sustrato o placa estructural de metal. El Departamento de Energía Solar fue el responsable de la integración de los paneles, así como de los distintos ensayos ambientales que certificaron su funcionamiento (Trabajador N°1 de CNEA, comunicación personal, 21 de marzo de 2023).

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la CNEA, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) desarrollaron un artefacto experimental que fue subido a bordo del micro satélite Tita: LabOSat. Esta plaqueta electrónica tenía como objetivo controlar los dispositivos que debían ensayarse en el espacio. Por lo tanto, recibía energía y procesaba las comunicaciones por intermedio de la computadora central del satélite, al tiempo que realizaba las conexiones con tierra para el procesamiento de la información recibida.

También, generaba los estímulos y realizaba mediciones sobre los dispositivos a ensayar, con la posibilidad de reconfigurar los experimentos a desarrollar a posteriori de la puesta en órbita. Dichos experimentos se realizaban en entornos hostiles, con baja presión, condiciones de baja temperatura o grandes dosis de radiación (CONICET, 2018).

Esta plaqueta contaba con memorias electrónicas, cuyo diseño y fabricación contempló procesos de espacialización, es decir fueron preparadas para resistir las condiciones existentes en el espacio exterior. Las memorias electrónicas espaciales (MeMOSat) son memorias resistivas del tipo ReRAM, formadas por dos placas de metal con un óxido entre medio, con propiedades de resistencia eléctrica. Estas podían acopiar hasta 1TB de información, debido a su capacidad tridimensional de almacenamiento y su bajo consumo energético (Gibson, 2014).

El 19 de junio de 2014, luego de siete meses de la puesta en órbita de Manolito, Satellogic lanzó con éxito el micro satélite Tita. Ello se produjo desde la base espacial rusa de Yasny a través de un lanzador DNEPR. Para el seguimiento del artefacto, los dueños de Satellogic primero acondicionaron la vivienda de uno de sus miembros ubicada en la localidad de Tortuguitas en la provincia de Buenos Aires. Allí podían detectar dos o tres pasadas por día de dicho satélite. Luego para un seguimiento con mayor continuidad, contrataron los servicios de la empresa Königsberg Satellite Services (KSAT) quien contaba con una estación terrena en Svalbard (Noruega) muy cerca del polo Norte. Esta posición estratégica permitía observar muchas más pasadas del satélite que la que permitía la estación situada en Buenos Aires.

El tercer satélite de Satellogic comprendió varios desarrollos nacionales que funcionaron de forma correcta. Sin embargo, algunos de los dispositivos presentaron algunos problemas o no funcionaron de la forma esperada. El subsistema de propulsión presentó algunas fallas y las cámaras multiespectrales tomaban imágenes que no tenían la resolución y nitidez deseada. La resolución de estos problemas, en especial lo referente a la toma de imágenes, resultaban claves en términos comerciales.

La noche antes de terminar de embalar a Tita un operador estaba borrando archivos para hacer espacio en los discos de las seis computadoras al mismo tiempo. El problema fue que se equivocó en un comando del sistema operativo Linux y se empezó a borrar todo el sistema de las computadoras de

abordo. Encima era el día de su cumpleaños, lo estaban esperando para soplar las velitas, pero se tuvo que quedar. Por suerte no se había borrado todo de todas las computadoras. Empezamos a ver qué se podía hacer y vimos que había un *link* estático de una máquina virtual con un puerto abierto y pudimos conectarnos por TCP y restaurar el sistema. Todo esto contado en un minuto, pero nos llevó horas solucionar el problema (Ekoparty Security Conference, 2016, 3m08s).

Además de los desperfectos y/o no-conformidades técnicas (problemas ocasionados por algo que no funciona de la manera esperada), en la trayectoria de Satellogic se registraron algunos problemas producto de errores humanos, tales como el que se presentó en la cita anterior. Al igual que en otras empresas dedicadas a la producción satelital, el registro, evaluación y resolución de tales eventos era significativo, puesto que la misión corría riesgo de pérdida.

Estos imponderables se constituyeron en núcleos de aprendizajes para los profesionales encargados del diseño y fabricación de la constelación de satélites que prestarían servicios de observación de la Tierra. En el caso específico bajo análisis, no solo se pusieron en juego conocimientos propios de la industria satelital, sino principalmente aquellos provenientes de la informática.

3.5. Balance de capítulo

Satellogic es una firma que surgió con pretensiones de utilizar la tecnología satelital como respuesta a diversos problemas. Sin embargo, sus fundadores carecían de los saberes mínimos que demandaba esta industria intensiva en conocimientos. Si bien ello pudo constituir un impedimento, la experiencia bajo análisis en este capítulo pone en evidencia que la marginalidad que tenían los socios de Satellogic respecto del marco tecnológico satelital fue clave en la toma de decisiones técnicas.

Así como personal ajeno al marco tecnológico de los químicos del celuloide y de los ingenieros especializados en la producción de goma dura fue clave para formular nuevas preguntas y soluciones -lo que finalmente derivó en la producción de la baquelita (Bijker, 1987)-, o como la inclusión de los biólogos de la reproducción y sus trabajos con animales

de granja, en lugar de los típicos ratones, hizo viable la clonación (Fressoli y Thomas, 2008), los fundadores de Satellogic ampliaron y redefinieron algunas prácticas estabilizadas en la industria satelital. ¿Cómo actores ajenos a la industria satelital lograron incursionar en dicho marco?

Las interacciones que tuvieron los fundadores de Satellogic con los ingenieros y técnicos de INVAP S.E. permitieron que los primeros incursionaran en el marco tecnológico satelital, en especial a través del planteo de ideas disruptivas o la formulación de preguntas no estructuradas por el tipo de pensamiento dominante en el sector. Sin embargo, el bajo nivel de inclusión que registraron dio lugar a tres dinámicas diferentes.

Primero, posibilitó el planteo de requerimientos o especificaciones técnicas alejadas del estándar de la industria. La necesidad de construir satélites a bajo costo y en menor tiempo eran nociones hasta entonces poco extendidas entre las empresas fabricantes. Segundo, posibilitó la búsqueda de soluciones creativas, puesto que entendían que las respuestas estabilizadas resultaban inadecuadas a la reducción de los costos y los tiempos. En este sentido, fue necesaria la búsqueda de nuevos proveedores, así como formas poco convencionales de gestionar las compras. Cabe agregar que la baja inclusión que tenían los profesionales de Satellogic en el marco tecnológico satelital había llevado a que estos subordinaran la gestión de los riesgos a los intereses comerciales (costos y tiempo) exponiendo la misión al fracaso. Finalmente, posibilitó el desarrollo de un nuevo modelo de negocio. Hasta entonces, sólo algunas universidades de EE.UU. habían desarrollado de forma experimental (no para la comercialización de un producto) algunos nano-satélites. Satellogic constituyó una de las primeras empresas que ideó la fabricación de pequeños satélites con fines comerciales.

Las interacciones entre Satellogic e INVAP S.E. no solo favorecieron un acercamiento de los primeros hacia el marco tecnológico satelital, sino también aprendizajes en sentido opuesto. En general, los ingenieros de INVAP S.E. aprendieron a trabajar con metodologías ágiles para diseñar satélites, exclusivas de la industria informática. Se trataba de un conjunto de técnicas aplicadas en ciclos de trabajo cortos con el objetivo de que el proceso de entrega de un proyecto resulte más eficiente. Además, las interacciones del personal de INVAP S.E. con Satellogic posibilitó que los primeros visibilicen un nuevo horizonte de trabajo a partir de la creación de startups satelitales.

Luego de las políticas gubernamentales que interrumpieron y obstaculizaron los grandes proyectos satelitales, en especial con la cancelación del ARSAT-3 (Cáceres y Picabea, 2024), varios ingenieros abandonaron sus puestos en la compañía rionegrina y crearon empresas de base tecnológica con un modelo de negocio similar al de Satellogic. Dicha dinámica, si bien excede los límites de la presente tesis, permite dar cuenta de dos fenómenos. Por un lado, la creación de empresas, tales como Skyloom (2017), UARX Space (2020) y ReOrbit (2018). Por otro lado, la consecuente pérdida de capacidades tecnológicas en el país en general, y en INVAP S.E., en particular puesto que estas empresas se radicaron en otros países.

La inclusión de los profesionales de Satellogic en el marco tecnológico satelital, así como de varias otras empresas similares, amplió sus márgenes. Sin embargo, es preciso señalar que las condiciones del espacio exterior determinan prácticas y procedimientos indispensables (ensayos ambientales) para garantizar el ciclo de vida de los artefactos.

Capítulo 4

SATELLOGIC: DE *START-UP* A EMPRESA CON ASENTAMIENTO GLOBAL

Entre 2013 y 2014, Satellogic puso en órbita dos nanosatélites y un microsatélite. Estos artefactos permitieron a la compañía la adquisición de saberes específicos, propios de un sector tecnológico intensivo en conocimientos. Ello constituyó un hito, puesto que Satellogic fue la primera empresa de capitales privados en Argentina en poner satélites en el espacio. Sin embargo, dicha experiencia solo fue un primer paso en la trayectoria de la firma.

En los siguientes cinco años surgieron varias empresas, entre ellas Starlink de Elon Musk, que lanzaron constelaciones de satélites al espacio con el fin de ofrecer servicios de Internet a zonas aisladas a bajo costo, ubicaciones georreferenciales con precisión, entre otros. Varias de estas firmas, también se mostraron interesadas en la realización de viajes espaciales tripulados de índole civil tanto a la Estación Espacial Internacional como a cuerpos celestes cercanos a la Tierra (especialmente, la Luna y el planeta Marte). Todo ello condujo a la mercantilización del espacio ultraterrestre, lo que alteró las dinámicas tradicionales de uso y explotación de los recursos espaciales.

En dicho escenario, Satellogic atravesó dos procesos que transformaron profundamente su funcionamiento. Primero, pasó de ser una firma asentada únicamente en Argentina a ser una empresa con instalaciones para distintos fines alrededor del mundo. Dicha estrategia estaba alineada a la pretensión de construir una constelación de satélites que posibilitara la comercialización de sus servicios de georreferenciación en los principales mercados. Segundo, Satellogic inició un proceso de financierización, puesto que dejó de ser una empresa de base tecnológica inspirada en el modelo de Silicon Valley para ser una compañía cuyas acciones cotizaban en la Bolsa de Nueva York.

4.1. La nueva planta de Ensamblaje, Integración y Pruebas

En Argentina, en el año 2011 reapareció un problema estructural del modelo de industrialización por sustitución de importaciones: la restricción externa. Por esos años, ese antiguo problema se asoció a los límites que exhibía el proceso de crecimiento industrial liderado por sectores que demandaban altos niveles de insumos importados, tales como la producción automotriz y la electrónica de consumo en Tierra del Fuego (Azpiazu y Schorr, 2010). Por otro lado, el aumento de la actividad económica generado entre los años 2003-2011 había incrementado la demanda energética, en un momento en que la oferta de la misma era deficiente. Para cubrir la demanda creciente de energía, el gobierno nacional había decidido importar tales recursos. Esa decisión junto a la creación de cuotas para la exportación de hidrocarburos generó un desfase de los precios locales respecto de los internacionales (Manzanelli y Basualdo, 2017).

En 2012, además se deterioraron los términos de intercambio, al tiempo que aumentaba la fuga de capitales (Manzanelli y Basualdo, 2017) y recrudecía el conflicto con los fondos buitres por la reestructuración de la deuda de inicios del siglo XXI (Barrera y Bona, 2017). Finalmente, los sectores de mayores ingresos que estaban inclinados a la compra de moneda extranjera y su radicación por fuera del sistema presionaban sobre el precio de las divisas. En ese escenario, el gobierno nacional impulsó una serie de políticas que regularon la importación de bienes y el acceso a monedas extranjeras.

Como consecuencia de estas medidas y en un escenario de bajo dinamismo económico, distintos empresarios argumentaron que una menor intromisión del Estado en materia impositiva generaría un clima político más favorable a los negocios, puesto que permitiría a las empresas tener mayor seguridad para aumentar sus inversiones. Ello derivaría en aumentos de la producción y de las exportaciones lo que finalmente se traduciría en un equilibrio en la balanza de pagos. Dichos argumentos construían una explicación simplista de la realidad política y económica del país, pero se convirtieron en verdaderos para una parte de la sociedad y finalmente, orientaron el programa político de la coalición Cambiemos tras su triunfo en las elecciones ejecutivas de 2015.

Los primeros tres satélites que lanzamos los hicimos en Argentina. Tomamos la decisión de instalar nuestra planta de producción fuera del país independientemente de las ganas de ayudarnos del gobierno de turno, porque

todos los gobiernos siempre han tenido la mejor voluntad de trabajar con nosotros. **Fue por la volatilidad y lo difícil que es predecir la situación a futuro. Es parte de lo que Argentina tiene que resolver, tener algunas políticas de estado que se mantengan a lo largo del tiempo**, que permitan abrir el camino al crecimiento de compañías como la nuestra en el país. De todas formas, seguimos comprometidos con la inversión en el país, más de la mitad de nuestra gente está en Argentina, tenemos ADN argentino y vocación por seguir trabajando e invirtiendo en el país, pero hoy producir hardware en el país es una cosa muy compleja (E. Kargieman citado en bloomberglinea.com, 2023. El resaltado es propio).

En la extensa cita, Kargieman demandaba un escenario de menor volatilidad política, entendiendo que ello resultaba clave para sostener los emprendimientos productivos como los de Satellogic. También, postulaba que las industrias conocimiento-intensivas como las satelitales requieren de políticas de Estado que superen las variaciones de los mandatos de gobierno. Si bien esto último trasciende los límites de la presente investigación, dicha idea dio lugar a los siguientes interrogantes ¿Qué políticas de Estado reclaman? ¿Qué entienden estos empresarios por políticas de Estado? Comprender ello resulta clave, puesto que esta última demanda es compartida tanto por las empresas públicas y entidades que lideran el sector espacial en Argentina -también de otras industrias conocimiento-intensivas-, como por los académicos que analizan los factores de desarrollo de los países de la periferia y semiperiferia.

Los fundadores de Satellogic suscribiendo a los argumentos esgrimidos más arriba y ante las medidas políticas que restringían las importaciones decidieron construir la planta de fabricación de los satélites en la Zona América de Uruguay. Dicho espacio comprende un parque de negocios y tecnología que opera bajo el marco de la Ley de Zonas Francas (Ley N° 15.921/1987) en tanto zona de libre comercio.

La Ley 15.921/87 establecía que los usuarios habilitados para operar en la zona franca estaban exentos de todo tributo nacional (Art. 19), así como toda renta derivada de la explotación de derechos de la propiedad intelectual y otros bienes intangibles que provengan de actividades de I+D (Art. 20). Además, la regulación establecía la exención en el pago de tributos e impuestos por la importación de bienes, servicios, mercancía y materias primas provenientes de terceros países y/o de otros territorios por fuera de la

zona franca (Art. 21). Asimismo, también estaban exentos de impuestos todos los bienes, servicios, mercancías y materias primas desarrollados en la zona franca y exportados por fuera de la misma (Art. 22). Finalmente, el Estado uruguayo se comprometía a ofrecer tarifas promocionales por el suministro de insumos y servicios a las compañías de la zona franca (Art. 24) y la seguridad de los beneficios y exoneraciones tributarias durante la vigencia de los contratos -15 años para los usuarios que desarrollan actividades industriales- (Art. 25).

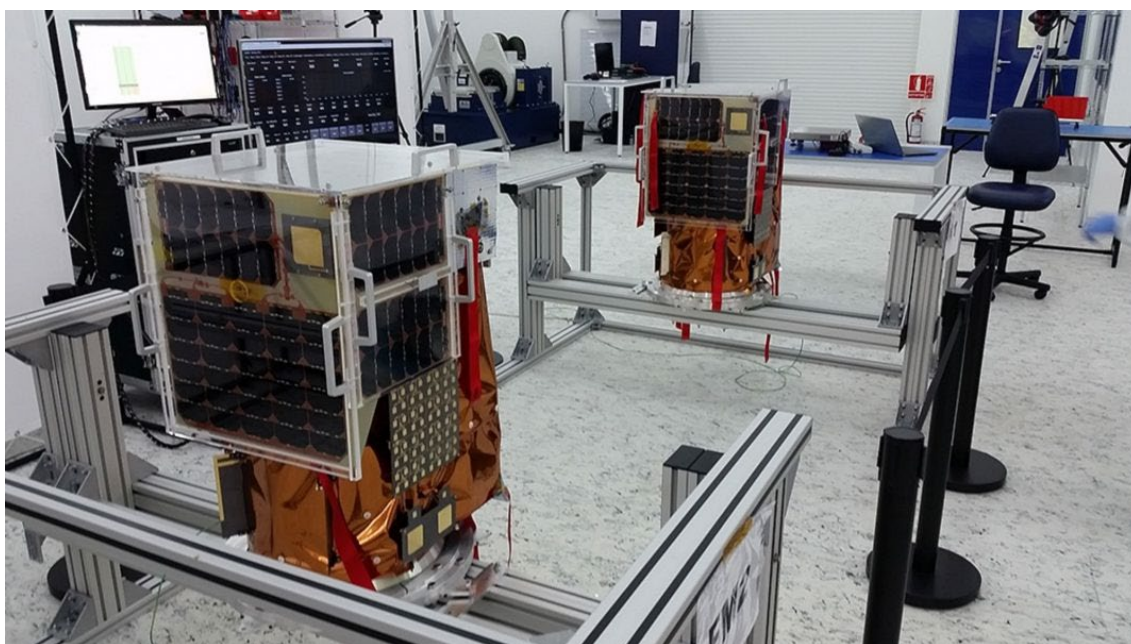
Durante el año 2015, Satellogic emprendió la instalación de la fábrica en Uruguay, la cual estuvo operativa desde el mes de noviembre de dicho año. La fábrica contaba con una superficie de 860 metros cuadrados, en la que se instalaron salas limpias con el fin de desarrollar la constelación de satélites. Para ello, la empresa adquirió maquinaria específica para el montaje de los subsistemas de los artefactos y para la realización de los ensayos ambientales (El País, 2015).

Ilustración 30. Planta de fabricación en Uruguay



Fuente: El País, 2015

Ilustración 31. Planta de fabricación en Uruguay



Fuente: Agendar, 2020

Los fundadores de Satelloptic planificaban que la constelación de satélites comprendiera 300 artefactos en los siguientes años, por lo que la planta de ensamblaje debía estar preparada para la fabricación e integración de 100 satélites por año. El ingeniero Fabricio Borsellino era el responsable de la dirección de la planta en Uruguay y fue quien estuvo al frente de la contratación de personal especializado para la materialización del plan de negocios de la compañía (Prutchi, 2019).

Hoy operamos en un montón de lugares. Todo lo que es investigación y desarrollo de los satélites lo seguimos haciendo en Argentina, donde tenemos el equipo de ingenieros más grande y la operación de los satélites. La fabricación, el ensamblado y la prueba de los satélites antes de lanzarlos lo hacemos en Uruguay, donde tenemos una planta de integración cerca de Montevideo (E. Kargieman citado en Sarmenti, 2021).

En Buenos Aires el equipo de ingeniería continuó operativo, mientras que en Uruguay se estableció el equipo de montaje. Los ingenieros argentinos viajaron en varias oportunidades a Montevideo con el fin de entrenar a sus pares uruguayos para la fabricación, integración y ensamble de los siguientes dos satélites, primeros de la serie NUSAT.

En paralelo a la instalación de la planta de fabricación en Uruguay, Satellogic comenzó a planificar su estrategia de negocio. Los socios definieron que, además de vender sus servicios en Argentina debían incursionar en EE.UU., por lo que abrieron dos oficinas comerciales, una en Charlotte (2015) y otra en Miami (2019). Dicha decisión se basó principalmente en dos cuestiones. Primero, el conocimiento que tenían del mercado estadounidense, producto de las ventas de Core Security. Si bien esta última estaba dedicada a la comercialización de software, su actividad les había permitido adquirir conocimientos generales del mercado, lo que constituía una gran ventaja. Segundo, Satellogic había comenzado a sumar personal de origen estadounidense tanto en el sector de ventas y finanzas como entre sus inversores. Estos eran una fuente de conocimientos específicos para promover la venta de los productos de Satellogic en EE.UU. (Trabajador N°2 de Satellogic, entrevista personal, 25 de marzo de 2023).

Satellogic no solo tuvo instalaciones en el continente americano, sino que expandió sus fronteras hacia territorios tan lejanos como Israel. Ello conduce a formular los siguientes interrogantes: ¿Por qué Israel? ¿Cómo gestionaron instalaciones en dicho país? Responder estas preguntas implica considerar la labor de un investigador argentino en Israel, quien se encontraba haciendo su tesis doctoral sobre constelaciones de satélites. En 2011, éste publicó un *paper* cuyo título era “Cluster flight for fractionated spacecraft”. Sus ideas se alineaban con las que tenía el fundador de Satellogic, quien pretendía construir un clúster de satélites para fotografiar la Tierra.

Satellogic contrató a este investigador, el cual estuvo al frente de la oficina en Israel. Contar con instalaciones en este país era importante debido a la reputación que tenía Israel en cuanto a la innovación tecnológica y su fuerte ecosistema aeroespacial. Satellogic particularmente estaba interesada en colaborar con las empresas locales y aprovechar la investigación y el desarrollo existente en el área de tecnología espacial, al tiempo que ofrecía sus servicios de imágenes satelitales en un mercado en crecimiento.

La apertura de las oficinas en Israel reflejaba la intención de Satellogic de fortalecer su presencia en el mercado global, atendiendo a clientes de diversos sectores económicos que requieren datos precisos sobre la Tierra. Entre estos estaban sectores agrícolas y aquellos interesados en el medio ambiente y en el urbanismo. En ese sentido, la apertura de las oficinas de Satellogic en Israel era parte de una estrategia más amplia orientada al

aprovechamiento del entorno innovador del país, así como a garantizar la expansión internacional de la compañía (Trabajador N°1 de Satellogic, entrevista personal).

Como consecuencia de esta estrategia, en 2015, Satellogic tenía sesenta y tres empleados distribuidos en varias partes del mundo, cuarenta y tres de los cuales estaban radicados en Argentina, mientras el resto estaban distribuidos en Uruguay, Estados Unidos e Israel (Trabajador N°2 de Satellogic, entrevista personal, 25 de marzo de 2023).

En 2017, Satellogic abrió oficinas en Barcelona en el distrito 22@, un complejo desarrollado para acoger empresas de corte tecnológico. El director de datos y responsable de la nueva sede de Satellogic en Barcelona, Dr. Marco Bressan, explicaba que “Barcelona es una verdadera mina de talento y nosotros necesitamos ese talento, con tres de las cinco mejores universidades del Estado español”. Y añadía: “Está bien conectada con otras ciudades europeas y no es complicado atraer a personas con alto nivel de preparación: es un lugar ideal para una empresa líder en el que empezar a trabajar” (Bressan, 2018).

En Barcelona analizamos los resultados de lo que viene en los satélites, se empaqueta para entregárselo a los clientes y desarrollan las soluciones para los clientes. En Tel Aviv tenemos un equipo de desarrollo de software. Después tenemos equipos de desarrollo de negocios en Estados Unidos y en Beijing, aunque nuestro equipo comercial, en general, está bastante distribuido por el mundo. Fuimos localizando cada una de las porciones de la compañía donde más sentido tenía y nos pensamos al principio como una pequeña multinacional (E. Kargieman citado en Sarmenti, 2021).

Desde entonces, Satellogic dejó de ser una *start-up* argentina aunque registrada en las Islas Vírgenes para constituirse como una empresa con asentamiento global. Satellogic mantuvo su sede en Argentina, el registro en las Islas Vírgenes y sumó un nuevo registro en Uruguay.

“Los satélites de la serie NUSAT para la UIT están registrados para Argentina, pero para la ONU están registrados para Uruguay. Es el único caso en el mundo” (Trabajador N°1 de Satellogic, comunicación personal, 14 de febrero de 2024). Más allá del cambio de carácter de la compañía, el registro de las nuevas sedes implicó que los satélites comerciales estuvieran inscriptos de manera diferenciada en las distintas instituciones encargadas de regular la actividad espacial, debido a que cada una tomaba en consideración distintos criterios para la asignación del país que desarrollaba la tecnología.

4.2. La primera serie de satélites comerciales: los NUSAT

Entre la instalación de la fábrica de Uruguay y el año 2020, Satellogic puso en órbita varios satélites de la serie NUSAT. Los dos primeros fueron artefactos gemelos, renombrados Fresco y Batata respectivamente. Estos fueron lanzados al espacio desde la base China de Taiyuan en un cohete Long March 4b el 30 de mayo de 2016.

Tabla 5. Características técnicas de Fresco y Batata, dos satélites gemelos

Características técnicas	Fresco y Batata
Dimensiones	40x40x80 cm
Masa	35 kg
Sensor estelar	Florestan y EMTECH
Sensores solares gruesos	CNEA
Computadoras	6 ARM de diseño propio
Cámaras	1 hiperespectral
	1 multiespectral
	1 infrarroja
Rueda de inercia	4 de diseño propio
Sistema de propulsión	Diseño propio
Potencia	Sistema COST
Paneles Solares	CNEA
Comunicaciones	1 antena en banda C
	1 antena de GPS
	1 antena en UHF

Fuente: Elaboración propia en base a https://space.skyrocket.de/doc_sdat/nusat-1.htm, <https://danielmarin.naukas.com/2016/05/31/lanzamiento-del-ziyuan-3-02-larga-marcha-cz-4b/>, <https://exactas.uba.ar/integrando-graduadxs/agustina-pose-satellogic/>

Estos satélites gemelos tenían características técnicas similares a Tita. Las principales diferencias estaban en una masa de mayor tamaño y la integración de tres cámaras que

trabajaban en distintos segmentos del espectro electromagnético. La cámara hiperespectral tenía una resolución de 30 metros y podía sacar fotos en 600 bandas que le permitían ofrecer información diversa, tal como la composición química de los vertidos de una fábrica, las variedades específicas de ciertos cultivos, la absorción de clorofila y otros aspectos, como la evapotranspiración. Por su parte, la cámara multiespectral contaba con una resolución de 1 metro y tomaba imágenes en rojo, verde, azul e infrarrojo cercano¹³. Esta resultaba particularmente útil para aplicaciones en agricultura porque permitía conocer distintos parámetros biofísicos de los cultivos. Finalmente, la cámara térmica obtenía imágenes en infrarrojo, por lo que en sus imágenes no predominaba lo que se reflejaba de la radiación solar, sino la radiación de cuerpos negros que era tanto más intensa cuanto más elevada era la temperatura del emisor. Con esta cámara se podían detectar variaciones de centésimas de grado, la humedad de los suelos, saber cuánto petróleo había en un barco o determinar la eficiencia energética de un edificio (E. Kargieman, citado en La Nación, 2016).

Los satélites tienen 80 centímetros de alto, pesan 40 kilos y orbitan a 500 kilómetros de la Tierra. Están hechos de carbono, fibra de aluminio, lentes y espejos, entre otros elementos. Cuentan con componentes similares a los de una cámara digital y permiten obtener imágenes hiperespectrales de alta resolución (Bressan, citado en Infobae, 2019).

El uso de las tres cámaras le permitió a Satellogic tomar imágenes de distinta resolución con el fin de comercializarlas, puesto que estas eran productos útiles para distintos sectores tecno-productivos. La serie continuó con el lanzamiento del tercer satélite, denominado Milanesat, nombre elegido en un concurso llamado “Mi huella en el espacio”. Fue lanzado el 15 de junio de 2017 desde una plataforma de lanzamiento en China, país responsable de los siguientes lanzamientos.

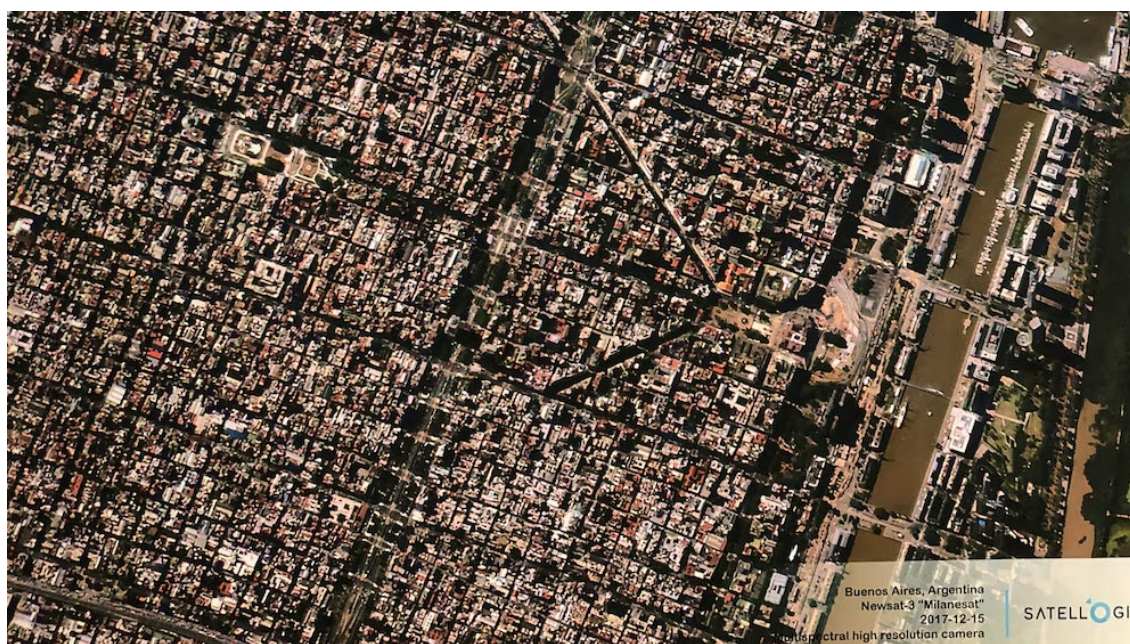
Su función es muy similar a lo que uno ve en Google con Google Maps: toma fotos de la superficie terrestre. La diferencia es que se trata de fotos de alta definición -algo que Google no hace, al menos en esta parte del mundo- y también toma fotos térmicas, que permiten conocer las características de un

¹³ Satellogic junto a una tesista del Laboratorio de Electrónica Cuántica de la Universidad de Buenos Aires diseñaron y armaron una cámara hiperespectral de uso satelital, cuyo funcionamiento y optimización dio lugar a las cámaras integradas en los satélites Fresco y Batata (Pose, 2017).

determinado suelo para distintos proyectos (García, citado en Los Andes, 2017).

El lanzamiento de este último satélite permitió a la empresa alcanzar el primero de los objetivos del modelo de negocio: tomar imágenes de cualquier punto de la superficie de la Tierra. Si bien todavía la toma de imágenes no se realizaba con la frecuencia de remapeo diario, sí constituyó un paso significativo para obtener y procesar datos en alta definición.

Ilustración 32. Buenos Aires desde la cámara hiperspectral de Milanesat, 2017



Fuente: www.satellogic.com

Los nombres de los primeros prototipos y de los satélites comerciales de Satellogic, no solo resultan originales sino que representan a la cultura argentina. La denominación de Capitán Beto hace referencia al tema musical *El anillo del capitán Beto* de Luis Alberto Spinetta, quien había fallecido el año anterior al lanzamiento del satélite. La letra describe la odisea de un colectivo argentino, hincha de River Plate, que maneja una nave espacial hecha de fibra en Haedo. El nano satélite emula la nave del capitán, descrita a través de algunas estrofas, tales como “su equipo es tan precario como su destino” y “ahí va el Capitán Beto por el espacio, regando los malvones de su cabina, sin brújula y sin radio, jamás podrá volver a la Tierra”.

Sin embargo, la asociación entre Satellogic y Spinetta no se reduce únicamente a dicha canción, sino a que ambos posibilitaron la unión de dos paradigmas diferentes. Mientras en la década del sesenta Spinetta articuló la poesía surrealista propia de la élite y el pop-rock, Satellogic combinó concepciones y metodologías de trabajo estabilizadas en la industria satelital con ideas novedosas del campo de la informática y el software.

El segundo satélite se llamó Manolito en referencia a un personaje de la historieta *Mafalda*. Este personaje es el hijo de un almacenero de origen español que representa las ideas capitalistas y conservadoras dentro de la trama. El tercero fue bautizado Tita en honor a la actriz y cantante argentina “Tita” Merello. Este artefacto fue el primer satélite argentino con nombre de mujer, algo poco habitual en el sector.

Dado que el cuarto y quinto satélite se lanzarían juntos, el nombre debía aludir a una dupla. En Satellogic decidieron representar parte de la gastronomía argentina eligiendo el nombre de un postre popular a base de queso fresco y dulce de batata. En referencia a estos ingredientes, los satélites se llamaron Fresco y Batata. Dicho postre también es conocido como “Vigilante”, alusión que invita a pensar en la función de los satélites como ‘vigilantes’ de la Tierra. Por último, para la denominación del sexto satélite, los profesionales de Satellogic organizaron un concurso a través del canal de televisión TECTv del entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación. La primera etapa de la votación fue abierta, por lo que los ciudadanos enviaron vía web o redes sociales las propuestas de nombres, siendo seleccionados cuatro para una segunda ronda: Malbec, una de las grandes cepas de vino nacionales; Cronopio, en alusión a la obra de Julio Cortázar; Mendieta, popular personaje de Fontanarrosa; y Milanesat, en referencia a uno de los grandes platos argentinos. Este último finalmente resultó seleccionado y fue anunciado en un museo de ciencias para niños de Buenos Aires. Esto permite observar dos cosas. Primero, Satellogic privilegió los nombres que no solo aludían a aspectos significativos de la cultura nacional, sino a aquellos que contaban con mayores niveles de popularidad. Y segundo, que la empresa mantenía vinculaciones con la ciencia argentina, no solo por la intermediación del entonces MinCyT en el concurso, sino también por el espacio físico en el que se anuncia el ganador del concurso.

Tabla 6. Serie de satélites NUSAT 1 al 18

SATÉLITE	MISIÓN	MODELO	MASA	FECHA	LANZADOR	BASE
NewSat-1, Fresco NewSat-2, Batata	NUSAT 1&2 Aleph-1	Mark IV "A"	37 Kg C/U	30 de mayo de 2016	Long March- 4b	Taiyuan China
NewSat-3, Milanesat	NUSAT 3 Aleph-1	Mark IV "B"	37 Kg	15 de junio de 2017	Long March- 4b	Jiuquan China
NewSat-4, Ada NewSat-5, Maryam	NUSAT 4&5 Aleph-1	Mark IV "C"	37 Kg C/U	2 de febrero de 2018	Long March- 4b	Jiuquan China
NewSat-7, Sophie NewSat-8, Marie	NUSAT 7&8 Aleph-1	Mark IV "C"	37 Kg C/U	15 de enero de 2020	Long March- 2D	Taiyuan China
NewSat-6, Hypatia	NUSAT 6 Aleph-1	Mark IV "D"	38,5 Kg	2 de septiembre de 2020	Vega Arianespace	Guyana Francesa
NewSat-9, Alice NewSat-10, Caroline NewSat-11, Cora NewSat-12, Dorothy NewSat-13, Emmy NewSat-14, Hedy NewSat-15, Katherine NewSat-16, Lise NewSat-17, Mary NewSat-18, Vera	NUSAT 9&18 Aleph-1	Mark IV "D"	38,5 Kg C/U	6 de noviembre de 2020	Long March-6	Taiyuan China

Fuente: elaboración propia en base a www.satellogic.com; comunicación personal con trabajador N°3 de Satellogic

Siete meses después, el 2 de febrero de 2018 fueron lanzados los satélites NUSAT 4 y 5, nombrados Ada Lovelace (autora del primer algoritmo ejecutado por una máquina) y

Maryam Mirzakhani (la primera mujer en ganar la prestigiosa medalla Field ¹⁴), respectivamente.

Estamos comprometidos a reconocer a las mujeres que, a pesar de la oposición social y los obstáculos profesionales, contribuyeron a algunos de los mayores logros científicos de la humanidad. Las mujeres y las minorías de género están muy poco representadas en todos los ámbitos STEM. Esperamos compartir estos legados y que iluminen la importancia de la diversidad en la ciencia e inspiremos a las mentes de todo el mundo a perseguir su curiosidad (Satellologic, 2021).

El uso del nombre de una actriz argentina para el tercer satélite no constituyó un hecho aislado, puesto que la empresa adoptó la práctica de nombrar a los siguientes artefactos con nombres de mujeres que habían tenido una trayectoria trascendente en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Esta decisión no solo reconoció la labor de mujeres específicas, sino que también contribuyó, en un contexto en que diversos actores discutían los roles tradicionales de género, a visibilizar las desigualdades de género existentes en la producción de conocimiento científico: en la distribución de cargos, en la participación en los procesos de toma de decisiones y los enfoques epistemológicos y teóricos dominantes.

En 2020, Satellologic tuvo un gran desafío, puesto que puso en órbita trece satélites. El 15 de enero fueron lanzados los NUSAT 7 y 8 (renombrados como Sophie¹⁵ y Marie¹⁶), el 2 de septiembre, el NUSAT 6 (renombrado Hypatia¹⁷) y finalmente el 6 de noviembre la empresa contrató un cohete lanzador exclusivo para la puesta en órbita de diez satélites

¹⁴ La Medalla Internacional para Descubrimientos Sobresalientes en Matemáticas, más conocida por el nombre de Medalla Fields, es una distinción que concede desde 1936 la Unión Matemática Internacional de forma cuatrienal, siendo el máximo galardón que otorga la comunidad matemática internacional.

¹⁵ Sophie Germain fue una física y matemática francesa autodidacta (1776-1831).

¹⁶ Marie Curie fue una física y química polaca y la primera y única persona en recibir dos premios Nobel en distintas especialidades (1867-1934).

¹⁷ Hypatia fue una filósofa y neoplatónica griega, natural de Egipto que se destacó en los campos de matemática y astronomía.

en simultaneo: NUSAT 9 al NUSAT 18 (renombrados Alice¹⁸, Caroline¹⁹, Cora²⁰, Dorothy²¹, Emmy²², Hedy²³, Katherine²⁴, Lise²⁵, Mary²⁶ y Vera²⁷).

Estos diez satélites simultáneos fue un desafío muy interesante. Hubo que reacomodar todo el sistema de comunicaciones. Lo que se hizo fue agruparlos en frecuencia y usar una misma antena para recibir la telemetría de más de un satélite a través de un análisis espectral de todos los canales; había demoduladores en software que bajaban la telemetría de cada satélite. Entonces a los quince minutos del lanzamiento (la primera pasada) ya pudimos ver seis satélites y luego de cuarenta y cinco minutos (media vuelta a la tierra) en la otra estación terrena nos enfocábamos en los otros cuatro. A las diecisiete horas del lanzamiento ya estaban “comisionados los diez satélites” y nos pudimos ir a dormir. **Este hito fue el único hasta ese día, nunca nadie antes había logrado lanzar y monitorear diez satélites al mismo tiempo.** (Trabajador N°1 de Satellogic, comunicación personal, 14 de febrero de 2024, el resaltado es propio)

En la planta de integración de Uruguay se comenzó a fabricar una serie corta de diez satélites. Ello presentaba diferencias tanto con la producción de bienes de consumo masivo como con la fabricación de bienes complejos (Versino y Russo, 2010). Respecto a los primeros, si bien la integración de los satélites demandó la ejecución de tareas coordinadas y en simultaneo, la misma careció de la dinámica impuesta por las cadenas de montaje. El proceso productivo de estos artefactos mantuvo el carácter artesanal y la

¹⁸ Alice Ball fue una científica química que desarrolló un extracto de aceite inyectable que fue el único tratamiento más efectivo contra la lepra hasta la aparición de los antibióticos en 1940. (1892-1916).

¹⁹ Caroline Herschel fue una astrónoma alemana que vivió también en Inglaterra, descubrió ocho cometas, de los cuales seis llevan su nombre (1751-1848).

²⁰ Cora Ratto fue una físico-matemática y feminista argentina, esposa de Manuel Sadosky (1912-1981).

²¹ Dorothy Vaughan fue una matemática e informática estadounidense, afroamericana que trabajó en la NASA (1910-2008).

²² Emmy Noether fue una matemática alemana de ascendencia judía especialista en la teoría de invariantes (1882-1935).

²³ Hedy Lammar fue una actriz e inventora austriaca. Inventó la primera versión del espectro ensanchado que permitiría las comunicaciones inalámbricas a largas distancias (1914-2000).

²⁴ Katherine Johnson fue una física y matemática estadounidense. Sus cálculos de la mecánica orbital como empleada de la NASA fueron fundamentales para el éxito del primer y posteriores vuelos espaciales tripulados en su país (1918-2020).

²⁵ Lise Meitner fue una científica austriaca que contribuyó a los descubrimientos del elemento protactinio y la fisión nuclear (1878-1968).

²⁶ Mary Jackson fue una matemática e ingeniera aeroespacial que trabajó para la NASA (1921-2005).

²⁷ Vera Rubin fue una astrónoma estadounidense, pionera en la medición de la rotación de las estrellas dentro de una galaxia (1928-2016).

inclusión de soluciones *ad hoc* propias de la industria satelital. Respecto a los segundos, los NUSAT no eran artefactos únicos y con requerimientos específicos orientados a cubrir las necesidades de un cliente particular, sino componentes redundantes e intercambiables de un sistema más amplio, la constelación satelital. Ello generó que el proceso de producción e integración de los NUSAT tuviese diferencias respecto a la forma estabilizada de trabajo en el sector.

INVAP S.E. trabajaba con la filosofía de modelos (estructural, de ingeniería, térmico y de vuelo) para cada una de las misiones puestas en órbita. Ello le permitía ensayar la tecnología y reducir los niveles de riesgo, así como acumular conocimientos y generar nuevas capacidades. A diferencia, los fundadores de Satellogic decidieron que los primeros artefactos a poner en órbita -Capitán Beto, Manolito y Tita- serían los prototipos o modelos de prueba, los cuales se ensayaron directamente en el espacio. Por lo tanto, el laboratorio de ensayos y pruebas extendió sus límites materiales al incluir al espacio exterior. Ello les permitió visibilizar múltiples problemas y experimentar soluciones, convirtiéndose en una fuente de aprendizajes.

Los satélites NUSAT, en términos equivalentes a la terminología presente en INVAP S.E., constituyeron los modelos de vuelo. En ese sentido, estos artefactos no fueron sometidos a los ensayos de calificación propios de los modelos estructurales, puesto que los mismos podían estresar la estructura y los materiales. Tampoco atravesaron ensayos de termo-vacío ni de compatibilidad electromagnética dentro de los niveles requeridos para la aceptación espacial. Solo debieron aprobar una serie de ensayos mínimos, requeridos por la empresa responsable del lanzamiento. Primero, atravesaron ensayos de vibración que fueron realizados en un *shaker* propio ubicado en la planta de Uruguay, fundamental para garantizarles su estabilidad durante la fase de puesta en órbita. Y segundo, sortearon pruebas que analizaban la compatibilidad entre las interfaces eléctricas de los diferentes subsistemas. Sin embargo, las mismas no contemplaron otras verificaciones funcionales.

Ilustración 33. Los diez satélites lanzados en un cohete



Fuente: argentinaenelespacio.com, 2019

Otro factor crucial que diferenció la producción de Satellogic respecto de la estabilizada en el sector satelital fue el tiempo. Mientras el proceso de diseño, producción, integración, ensayos y puesta en órbita de un satélite, en general demandaba un período de cinco años, Satellogic produjo los primeros diez artefactos de la serie NUSAT en tan solo ocho meses (Trabajador N° 3 de Satellogic, comunicación personal, 16 de octubre de 2024). Ello se debía a que: 1- todos los satélites eran iguales al prototipo Tita, por lo que los ingenieros desarrollaron aprendizajes sobre la forma de trabajo más eficiente; 2- los componentes y subsistemas de los distintos satélites fueron redundantes, por lo que no se incluyeron tareas de I+D que incrementaran los tiempos de trabajo; 3- los componentes y subsistemas se compraron en general en el mercado, por lo que no se importaron tecnologías *ad hoc* que incrementaran los tiempos; y 4- los directivos e ingenieros de la empresa eliminaron algunas fases estabilizadas en la industria, tales como los ensayos ambientales de calificación y otros de aceptación. Si bien ello incrementó los niveles de riesgo, redujo los tiempos de fabricación de forma considerable.

En consecuencia, durante la segunda década del siglo XXI, en el mundo en general, y en Argentina en particular coexistieron al menos dos formas diferenciadas de trabajo dentro del sector espacial. Por un lado, la línea de trabajo de la industria standard o *Old Space* dedicada a la producción de grandes satélites, la cual era liderada por agencias gubernamentales y/o grandes empresas públicas. Por otro lado, la línea de trabajo dedicada a la producción de pequeños satélites, denominada *New Space*, que en general, comprendía empresas de formación reciente que buscaban rentabilizar la inversión de forma rápida mediante la comercialización de los productos satelitales. Si bien las agencias y/o empresas que forman parte del denominado *Old Space* también pretenden obtener ganancias, sus objetivos primarios están orientados a proveer información para la investigación científica, la obtención de datos para la prevención de catástrofes naturales y antropogénicas y la satisfacción de necesidades sociales.

La agencia espacial nacional y las empresas públicas que fabrican los grandes satélites de las series SAC, ARSAT, SAOCOM son responsables de los costos políticos, económicos y tecnológicos ante las autoridades nacionales y la sociedad toda. Por lo tanto, para estos actores es fundamental reducir los niveles de riesgo de la misión. En ese sentido, los artefactos suelen presentar redundancias que garanticen la vida útil, al tiempo que son ensayados en tierra bajo estrictos controles de calidad. En cambio las empresas del *New Space* no son responsables más que ante sí mismas, y en caso de tenerlos, sus accionistas. En ese sentido, y bajo la lógica de capitalizar mayores niveles de riesgo, el desarrollo de los artefactos continúa tras la puesta en órbita, mediante ensayos y controles de calidad en el espacio.

Yo tengo un dicho que dice que la industria espacial estándar hace todo lo necesario para que nada salga mal y la industria *New Space* hace lo mínimo necesario para asegurar que las cosas salgan bien, asumiendo mucho mayor riesgo (Trabajador N° 3 de Satellogic, comunicación personal, 16 de octubre de 2024).

La integración y puesta en órbita simultánea de los diez primeros satélites de la serie NUSAT constituyeron un desafío para Satellogic debido a los altos niveles de riesgo que comprendía el proyecto. Al mismo tiempo, dieron cuenta de las capacidades tecnológicas de la empresa, puesto que hasta entonces sólo una empresa en el mundo había logrado

algo similar en 2019 al lanzar de forma conjunta sesenta satélites para el proyecto Starlink de Space X, propiedad del multimillonario Elon Musk²⁸.

En cuanto a las capacidades de operación desde Tierra, Satellogic carecía de estaciones propias de telecomando y telemetría, por lo que decidió contratar el servicio de seguimiento de los satélites a la empresa KSAT (Noruega). Sin embargo, el incremento de la constelación de satélites tornó necesaria la vinculación con nuevas estaciones terrenas. En 2020, Satellogic contó con la prestación de servicios en tierra desde estaciones ubicadas en Svalbard (Noruega), Hartenbos (Sudáfrica) y Troll (Antártida, base noruega) lo que dio cuenta de las capacidades de vinculación de la compañía (Trabajador N° 2 de Satellogic, comunicación personal, 4 de abril de 2024).

4.3. La constitución como corporación registrada en EE.UU.

En junio del 2021 Satellogic se fusionó con CF Acquisition Corp. V., una compañía de propósito especial dirigida por el presidente y director ejecutivo Howard W. Lutnick y patrocinada por el inversionista estadounidense Cantor Fitzgerald. Esta asociación aumentó la valuación de Satellogic, la cual alcanzó un valor implícito de U\$S 850 millones, al tiempo que atrajo a inversionistas de primer nivel como Softbank que desembolsó U\$S 100 millones a cambio de una porción de las acciones de la empresa (Satellogic, 2021).

A partir de la fusión con CF Acquisition Corp. V., el directorio de Satellogic se modificó no solo en cuanto a nombres, sino también en cuanto a la nacionalidad de quienes estaban al frente de la compañía. Steven Mnuchin, un economista que anteriormente se había desempeñado como secretario de Hacienda de los Estados Unidos durante la presidencia de Donald Trump (2017-2021) ocupó el cargo de presidente; luego fue reemplazado por Ted Wang. Joseph Dunford, Brad Halverson, Tom Killalea, Howard Lutnick y Matthew Tirman, todos de nacionalidad estadounidense y con experiencia en negocios también se sumaron al directorio de la empresa.

²⁸ Starlink es un proyecto de SpaceX para brindar internet satelital de gran ancho de banda a cualquier parte del planeta Tierra.

Las personas que se incorporarán a nuestra junta tienen antecedentes impresionantes que abarcan astronáutica, ingeniería, producción industrial, auditoría y cotización pública. Ayudarán a impulsar a la empresa en su misión de democratizar el acceso a los datos geoespaciales. Estamos agradecidos por su compromiso con la compañía mientras continuamos construyendo nuestra constelación de satélites (Kargieman, citado en *Ámbito*, 2021).

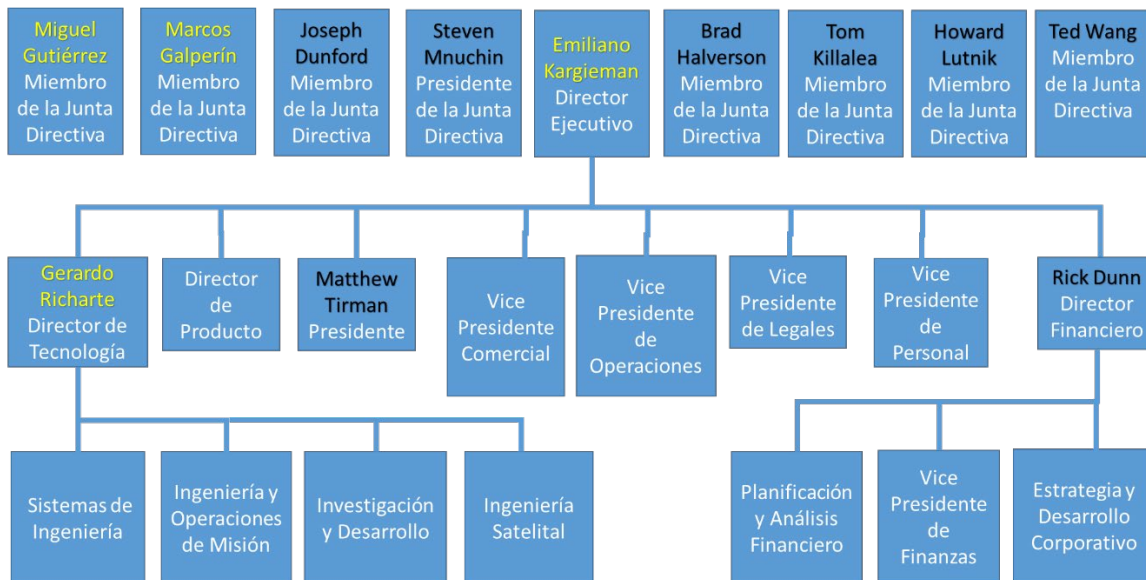
En línea con el objetivo de incorporar a la compañía en el mercado bursátil, Marcos Galperín, dueño y fundador de Mercado Libre SRL, se incorporó al directorio de Satellogic. Su participación no resultó extraña, puesto que el empresario integraba los directorios de otras compañías como Globant, Televisa, Onapsis y Endeavor. Además, por entonces también se sumó Miguel Gutiérrez, quien tenía amplia experiencia en la dirección de negocios en mercados emergentes luego de haber participado en JP Morgan, Telefónica de Argentina y España (*Ámbito*, 2021).

En 2021, si bien Kargieman continuaba como director ejecutivo de Satellogic, todos los altos cargos estaban en manos de empresarios de origen estadounidense, a excepción de tres puestos del directorio. Las modificaciones en los cargos directivos de la empresa permiten afirmar que en Satellogic tuvo lugar un proceso de características similares a las que atravesó la primera empresa creada por Kargieman, Core Security. La inclusión de profesionales de EE.UU. constituyó una estrategia que desplegó el empresario argentino con la finalidad de que ambas compañías (Core Security y Satellogic) pudieran ingresar y prestar servicios en el mercado norteamericano en sus respectivas áreas de negocio.

El ingreso de personal norteamericano sobre todo en el área comercial, así como la inclusión de fondos de inversión entre sus accionistas, también de ese mismo país, facilitaron la inclusión de Satellogic en la bolsa de Nueva York. Para que una empresa pueda cotizar en la misma es fundamental que sus directivos elijan una de las dos formas de ingreso: 1) Oferta Pública Inicial (IPO por sus siglas en inglés, *Initial Public Offer*), proceso en el que una empresa decide vender acciones al público por primera vez, por lo que requiere cumplir con una serie de requisitos regulatorios y financieros establecidos por la Comisión de Bolsa y Valores de Estados Unidos; o 2) Fusión con el propósito Especial de Adquirir una Empresa (SPAC por sus siglas en inglés, *Special Purpose Acquisition Company*), método alternativo que consiste en la fusión con una empresa ya

cotizada en bolsa (SPAC) para evitar el proceso de IPO tradicional (New York Stock Exchange [NYSE], s/f).

Ilustración 34. Organigrama de Satellogic (2021)



Fuente: <https://www.theofficialboard.es>

Satellogic eligió esta última forma de ingreso a la bolsa de valores, la cual se materializó mediante una fusión con la empresa Rivada Networks, la cual era respaldada por CF Acquisition Corp. V. Rivada Networks fue creada con el objetivo de adquirir o fusionarse con empresas del sector de telecomunicaciones o tecnología, puesto que sus directivos estaban interesados en las potencialidades que ofrecía la tecnología satelital y las redes de comunicaciones globales. Esta compañía planeaba crear una red de satélites de banda ancha global, especialmente para ofrecer conectividad a áreas de difícil acceso. Su misión estaba orientada a proporcionar acceso a servicios de telecomunicaciones de alta calidad mediante constelaciones de satélites en órbita baja, algo muy similar al proyecto Starlink. En ese sentido, el acuerdo que estableció con Satellogic fue parte de una estrategia para ingresar al mercado de las telecomunicaciones satelitales (Rivada Networks, 2021)

A partir de esta fusión, la empresa argentina pasó a llamarse Satellogic Inc. (Satellogic Incorporated) lo que daba cuenta de que la empresa estaba registrada oficialmente como una corporación. En Estados Unidos, las corporaciones son entidades legales separadas de sus dueños y directores, lo que les otorga ciertos beneficios, tales como responsabilidad limitada, capacidad para emitir acciones y una estructura organizativa más formal. Al ser

una corporación, los accionistas de Satellogic Inc. tenían una responsabilidad limitada, lo que significaba en la práctica que no eran personalmente responsables de las deudas de la empresa. Desde entonces, Satellogic podía emitir acciones y acceder a financiamiento adicional a través de la venta de estas mismas acciones en el mercado de valores.

Ilustración 35. Satellogic cotizando en NASDAQ



Fuente: Ámbito Financiero, 2022

Esta transformación de una empresa argentina a una corporación registrada en EE.UU marcó un hito importante en la historia de Satellogic y reforzó su posición como una empresa de carácter global en el sector de tecnología espacial. Finalmente, dicho cambio representó un aumento en la credibilidad de la empresa ante los inversores, proveedores y clientes.

Por entonces, Satellogic Inc. poseía oficinas en dos ciudades de Argentina (Buenos Aires y Córdoba), en España (Barcelona), en Estados Unidos (Miami y Charlotte), en Israel (Tel Aviv), en China (Beijing) y la fábrica en Uruguay (Montevideo). Los 180 empleados de la compañía estaban distribuidos de la siguiente forma: todo el sector de diseño, investigación y desarrollo que eran 100 personas se encontraban 80 en Buenos Aires, 15 en Córdoba y 5 en forma remota en el resto del país; en Barcelona había 25 personas que son los científicos de datos sobre todo de Inteligencia Artificial (además de sus dos fundadores); en Estados Unidos está todo el sector de finanzas y ventas que son 10 personas (sin contar los cargos del Directorio); en Israel hay un equipo que trabaja con

las imágenes obtenidas de 5 personas; en China solo hay gente de ventas otras 5 personas y por ultima en la planta de Uruguay hay 35 personas. También en esa fecha poseía 23 patentes aprobadas y 46 pendientes de aprobación, con lo que vemos que no solo es una empresa de servicios sino también de investigación y desarrollo (Trabajador N° 2 de Satellogic, comunicación personal, 4 de abril de 2024).

Tabla 7. Cantidad de empleados de Satellogic según área y ubicación geográfica

Sector/Equipo	Descripción Adicional	Ubicación	Cantidad de empleados
Diseño, Investigación y Desarrollo	Diseño de sistemas satelitales	Buenos Aires	80
		Córdoba	15
		Remoto (Argentina)	5
Planta de producción	Planta de producción en series cortas de los satélites	Uruguay	35
Científicos de Datos y Gerencia	Especializados en Inteligencia Artificial	Barcelona	27
Equipo de procesamiento de Imágenes	Trabajan con imágenes obtenidas de los satélites	Israel	5
Finanzas y Ventas	Dedicado a las ventas de Norteamérica y Europa	Estados Unidos	10
Ventas	Dedicado a las ventas de Asia y Oceanía	China	5
TOTAL	-	-	182

Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por trabajador N°2 de Satellogic

En enero de 2022 Satellogic Inc. comenzó a cotizar en la bolsa de Nueva York (NASDAQ) bajo el símbolo \$SATL. En el primer día de la cotización las acciones valieron 9,25 U\$S por acción. Con la fusión mencionada en el párrafo anterior, y la

inclusión de nuevos accionistas, Satellogic Inc. llegó a ser el décimo segundo *unicornio*²⁹ argentino detrás de MercadoLibre, Globant, OLX, Despegar, Auth0, Vercel, Aleph, Mural, Bitfarm, Ualá y Tiendanube (Bloomberg, 2022).

Nuevos satélites NUSAT y la asociación con Space X

En el año 2019, Rick Dunn, un estadounidense con amplia experiencia en negocios de empresas de telecomunicaciones, ocupó el cargo de Chief Financial Officer (CFO) en Satellogic. Su inclusión en el directorio llevó a cuestionar algunas vinculaciones establecidas con empresas no occidentales, lo que derivó en la firma de nuevos contratos con entidades de origen estadounidense. Dos años más tarde, Satellogic Inc. anunció el lanzamiento de nuevos satélites de la serie que estaba en órbita: NUSAT 19 (Rosalind³⁰), NUSAT 20 (Grace³¹), NUSAT 21 (Elisa³²) y NUSAT 22 (Sophie³³). A diferencia de los anteriores que fueron lanzados por empresas rusas o chinas, Satellogic Inc. estableció un acuerdo con SpaceX para el lanzamiento de sus próximas misiones.

El 30 de junio de 2021 se lanzaron cuatro satélites con el cohete reutilizable Falcon-9. Luego, el 1 de abril del 2022 se lanzaron otros cinco satélites: NUSAT 23 (Annie³⁴), NUSAT 24 (Kalpana³⁵), NUSAT 25 (Mária³⁶), NUSAT 26 (Mary³⁷) y NUSAT 27 (Sally³⁸). En términos técnicos, cuatro de estos satélites eran similares a los que se habían

²⁹ En términos financiero se considera que un unicornio es una empresa valorada en más de 1.000 millones de dólares.

³⁰ Rosalind Franklin fue una química y cristalógrafa británica cuyo trabajo fue fundamental para la comprensión de las estructuras moleculares del ADN, el ARN, los virus, el carbón y el grafito (1920-1958).

³¹ Grace Hopper fue una científica de la computación y militar estadounidense. Fue pionera en el mundo de las ciencias de la computación y la primera programadora que utilizó el Mark I, un ordenador electromecánico (1906-1992).

³² Elisa Bachofen fue una ingeniera argentina. La primera mujer diplomada en ingeniería civil en Argentina y en América del Sur en 1918. (1891-1976).

³³ Sofya Kovalevskaya fue una matemática y escritora rusa que hizo contribuciones significativas en los campos del análisis, las ecuaciones diferenciales parciales y la mecánica. (1850-1891).

³⁴ Annie Maunder fue una astrónoma y matemática irlandesa, entre sus aportes se encuentra la creación de una cámara con gran angular para obtener fotos de la corona solar. (1868-1947).

³⁵ Kalpana Chawla fue una doctora en ingeniería espacial y astronauta de la NASA, procedente de la India, falleció en el transbordador Columbia. (1962-2003).

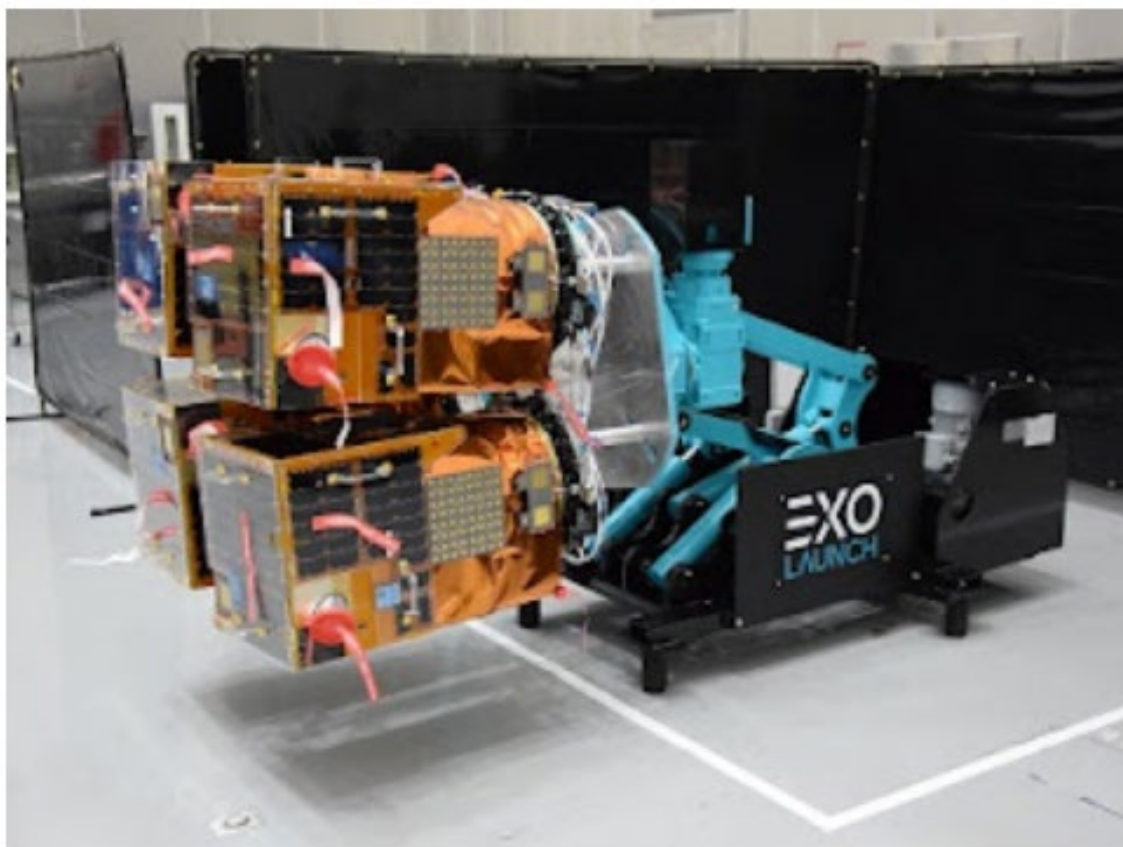
³⁶ Mária Telkes fue una científica pionera e inventora húngara estadounidense que trabajó en tecnologías de energía solar. (1900-1995).

³⁷ Mary Somerville fue una científica, escritora y erudita escocesa. Autodidacta en su formación, estudió matemáticas y astronomía, y en 1835 fue elegida junto con Caroline Herschel como las primeras mujeres miembros honorarias de la *Royal Astronomical Society*. (1780-1872).

³⁸ Sally Ride fue una física estadounidense y astronauta de la NASA que en 1983 se convirtió en la primera mujer de su país y la tercera del mundo en explorar el espacio exterior. (1951-2012).

lanzado previamente. Por su parte, el satélite restante fue el primero de un nuevo modelo, denominado MARK-V. Casi a un mes de este lanzamiento, el 25 de mayo de 2022 se lanzaron, también con SpaceX, el NUSAT 28 (Alice³⁹), NUSAT 29 (Edith⁴⁰), NUSAT 30 (Margherita⁴¹) y NUSAT 31 (Ruby⁴²).

Ilustración 36. Los primeros satélites lanzados por SpaceX



Fuente: argentinaenelespacio.com, 2020

Luego el 3 de enero de 2023 se lanzaron cuatro satélites con la misión Transport-6, también de SpaceX: NUSAT 32 (Amelia⁴³), NUSAT 33 (Williamina⁴⁴), NUSAT 34 (Albania 1) y NUSAT 35 (Albania 2). En este lanzamiento se incluyeron por primera vez

³⁹ Alice Lee fue una matemática británica reconocida por su trabajo para refutar el uso de la craneometría aplicada a la medición de la inteligencia humana.

⁴⁰ Edith Clarke fue la primera ingeniera eléctrica estadounidense y la primera profesora de ingeniería eléctrica en la Universidad de Texas. (1883-1959).

⁴¹ Margherita Hack fue una astrofísica, divulgadora científica y activista italiana. (1922-2013)

⁴² Ruby Paine-Scott: fue una astrónoma australiana, pionera en radioastronomía y radiofísica, siendo la primera radioastrónoma. (1912-1981).

⁴³ Amelia Earhart fue una profesora y pionera de la aviación estadounidense. Fue la primera aviadora en volar sola a través del océano Atlántico. (1897-1927).

⁴⁴ Williamina Fleming fue una astrónoma estadounidense de origen británico. Realizó numerosos descubrimientos de cuerpos estelares. (1857-1911).

dos satélites, cuya operación es compartida entre Satellogic Inc. y las autoridades gubernamentales de Albania. A partir de esta estrategia, Satellogic Inc. estableció una modalidad de negocio novedosa conocida como *Satellite As a Service*. La misma consistía en que cuando los satélites pasaban sobre el territorio del país, el control del mismo correspondía a sus autoridades. Entonces, Satellogic cobraba el alquiler de la plataforma. Cuando los satélites estaban fuera del territorio albanés, el control correspondía a Satellogic Inc., por lo que la empresa podía comercializar los servicios de igual forma que con sus restantes tecnologías.

Tabla 8. Serie de Satélites NUSAT 19 al 43

SATÉLITE	MISIÓN	MODELO	MASA	FECHA	LANZADOR	BASE
NewSat-19, Rosalind	NUSAT 19&22	Mark IV "D"	38,5 Kg	30 de junio de 2021	Falcon-9 SpaceX	Cabo Cañaveral
NewSat-20, Grace	Aleph-1		C/U			EE.UU.
NewSat-21, Sofya						
NewSat-22, Elisa						
NewSat-23, Annie	NUSAT 23&27	3 Mark IV "E" y 1	38,5 Kg c/u	1 de abril de 2022	Falcon-9 SpaceX	Cabo Cañaveral
NewSat-24, Kalpana Chawla	Aleph-1	Mark V "A"	de los Mark			EE.UU.
NewSat-25, Maria			IV y			
Telkes NewSat-26,			48 Kg			
Mary Somerville			el			
NewSat-27, Sally			Mark			
Ride			V			
NewSat-28, Alice	NUSAT 28&31	Mark IV "F"	38,5 Kg	25 de mayo de 2022	Falcon-9 SpaceX	Cabo Cañaveral
Lee						
NewSat-29, Edith	Aleph-1		C/U			EE.UU.
Clarke NewSat-30,						
Margherita Hack						
NewSat-31, Ruby						
Paine-Scott						
NewSat-32, Albania-1	NUSAT 32&35	3 Mark IV "G" y 1	38,5 Kg c/u	3 de enero de 2023	Falcon-9 SpaceX	Cabo Cañaveral
NewSat-33, Albania-2	Aleph-1	Mark V "B"	de los Mark			EE.UU.

NewSat-34, Amelia Earhart				IV y 48 Kg			
NewSat-35, Williamina Fleming				el Mark V			
NewSat-36, Annie Jump	NUSAT 36&39	Mark V "C"	48 Kg	14 de abril de 2023	Falcon-9 SpaceX	Cabo Cañaveral	
NewSat-37, Joan Clarke	Aleph-1					EE.UU.	
NewSat-38, Maria Gaet Agnesi							
NewSat-39, Tikvah Alper							
NewSat-40, Carolyn Shoemaker	NUSAT 40&43	Mark V "C"	48 Kg	12 de junio de 2023	Falcon-9 SpaceX	Cabo Cañaveral	
NewSat-41, Cecilia Payne	Aleph-1					EEUU	
NewSat-42, María Wonenburg							
NewSat-43, Rose Dieng-Kuntz							

Fuente: elaboración propia en base a www.satellogic.com, comunicación personal con trabajador N°3 de Satellogic

El 14 de abril de ese mismo año se lanzaron cuatro satélites con la misión Transport-7: NUSAT 36 (Annie⁴⁵), NUSAT 37 (Joan⁴⁶), NUSAT 38 (Maria Gaetana⁴⁷) y NUSAT 39 (Tikvah⁴⁸). También, el 12 de junio de 2023 se lanzaron otros cuatro satélites (del nuevo modelo MARK-V) desde la base de Vanderverg: NUSAT 40 (Carolyn⁴⁹), NUSAT 41

⁴⁵ Annie Jump Cannon fue una astrónoma estadounidense cuyo trabajo de catalogación fue fundamental para la actual clasificación estelar. (1863-1941).

⁴⁶ Joan Clarke fue una criptoanalista británica que trabajó en Bletchley Park durante la Segunda Guerra Mundial.

⁴⁷ Maria Gaetana Agnesi fue una filósofa, matemática, filántropa, escritora y teóloga italiana. (1718-1799).

⁴⁸ Tikvah Alper fue una física y radiobióloga sudafricana que descubrió los mecanismos de transmisión de la encefalopatía espongiforme. (1909-1995).

⁴⁹ Carolyn Shoemaker fue una astrónoma estadounidense, codescubridora del cometa Shoemaker-Levy9. Una vez tuvo el récord de la mayoría de los cometas descubiertos por un individuo. (1929-2021).

(Cecilia⁵⁰), NUSAT 42 (Maria⁵¹) y NUSAT 43 (Rose⁵²). Con la puesta en órbita de estos últimos, Satellogic Inc. fabricó, integró, lanzó y operó cuarenta y tres satélites comerciales en total, siendo una de las pocas compañías en el mundo en poseer dichas capacidades operativas.

El análisis de la trayectoria socio-técnica de Satellogic posibilita dar cuenta de los alcances de la experiencia en diferentes ámbitos. Primero, la firma pasó de ser una típica 'empresa de garage' a cargo de dos socios fundadores a ser una compañía que cotizaba en la bolsa Nueva York, contaba con una estructura organizativa jerarquizada, con oficinas en distintas ciudades del mundo y con más de ciento ochenta empleados. Segundo, los socios fundadores y los accionistas contaban con vínculos previos que posibilitaron la articulación de la empresa con otras firmas, tales como Space X. Esos mismos vínculos fueron claves en el ingreso de Satellogic en la bolsa de valores y su transformación en una de las denominadas 'unicornios'. Tercero, Satellogic registró un incremento notable en términos productivos. No solo fabricó tres prototipos sino cuarenta y tres satélites que prestaban servicios comerciales a usuarios finales. Por último, Satellogic asoció los artefactos que lanzaba al espacio con ideas o representaciones que, en un principio reivindicaban la cultura argentina. Luego, tras el posicionamiento global de la compañía, sus artefactos se asociaron a mujeres de la ciencia y la técnica mundial.

4.4. Desarrollo de conocimientos y capacidades tecnológicas

Satellogic a lo largo de su trayectoria acumuló capacidades diversas que le posibilitaron fabricar, poner en órbita y operar varios satélites en simultaneo; ofrecer servicios varios a través de la recolección de imágenes de la superficie terrestre; y trascender las fronteras nacionales, no solo en cuanto al asentamiento de la empresa, sino también respecto a la comercialización de sus productos. En ese sentido, este apartado tiene como objetivo identificar y analizar los conocimientos y capacidades tecnológicas de Satellogic en dos dimensiones: primero, en términos tecno-productivos a partir del diseño y fabricación de

⁵⁰ Cecilia Helena Payne-Gaposchkin fue una astrónoma y astrofísica anglo-estadounidense. En 1925, en su tesis de doctorado, propuso que las estrellas están compuestas principalmente de hidrógeno.

⁵¹ Maria Wonenburger fue una matemática española que desarrolló sus trabajos de investigadora en Estados Unidos y en Canadá. Fue la primera mujer española en recibir una beca Fulbright. (1927-2014).

⁵² Rose Dieng-Kuntz fue una científica informática senegalesa especializada en inteligencia artificial. (1956-2008).

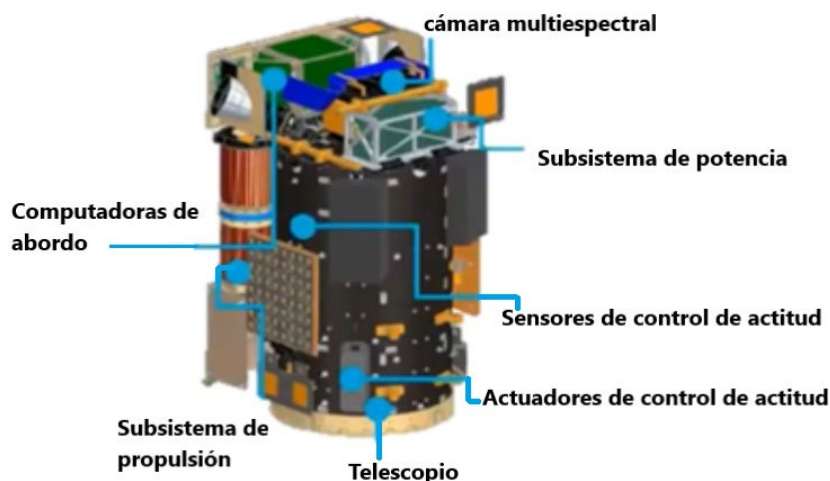
un nuevo modelo; y segundo, a través de la superación de desafíos impuestos por las demandas de los clientes.

Capacidades tecno-productivas: un nuevo modelo de satélite: el MARK-V

En junio de 2023 Satellogic lanzó sus últimos cuatro satélites del año para aumentar la capacidad de la flota. Estos artefactos eran del modelo MARK-V⁵³, una nueva generación de satélites con capacidad de generar grandes volúmenes de datos diariamente, mediante la captura de imágenes de la superficie terrestre próximas a los 40.000 kilómetros cuadrados. El diseño de la plataforma del satélite incluyó un sensor para mejorar el recuento de píxeles y la resolución de la cámara multiespectral.

El modelo MARK-V está construido alrededor de la estructura del telescopio principal (el gran cilindro negro que se observa en la Ilustración 37), circundante a este están montadas las antenas, las radios, el sistema de propulsión y las cargas útiles secundarias. Arriba de la estructura principal se encuentran ubicados todos los componentes que conforman la electrónica de aviónica, de potencia, del control de actitud, seguidores de estrellas y el plano focal de la cámara multiespectral con el sistema de estabilización óptica y artefactos principales de la carga útil.

Ilustración 37. Subsistema de estructura del modelo MARK-V



Fuente: Satellogic, 2023

⁵³ La descripción técnica de este modelo está basada en la charla de David Vilaseca y Mariano Stern personal de Satellogic: https://www.youtube.com/watch?v=9S_Jwv77SUg&t=4s

La carga útil primaria del satélite está compuesta por una cámara con una resolución de 50 cm. obtenida desde una órbita de 460 km. y que toma imágenes no solo en las bandas visibles R, G, B sino también en el infrarrojo cercano. La amplitud de resolución posibilita la toma de imágenes con grandes niveles de detalle, así también como de zonas más extensas. La combinación de bandas, por su parte posibilita identificar compuestos y realizar estudios cuantitativos en torno a la presencia de hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y otros elementos.

Tabla 9. Características técnicas de la cámara multispectral

Características de la nueva cámara multispectral	
Resolución Nativa	50 cm a una altura de 460 KM
Número de bandas	4 (R,G,B,NIR) - 450-900 nm
Captura continua	> 6.000 KM
Acho de franja de captura	7 – 8 KM
Área de captura por órbita	> 42.000 Km ²

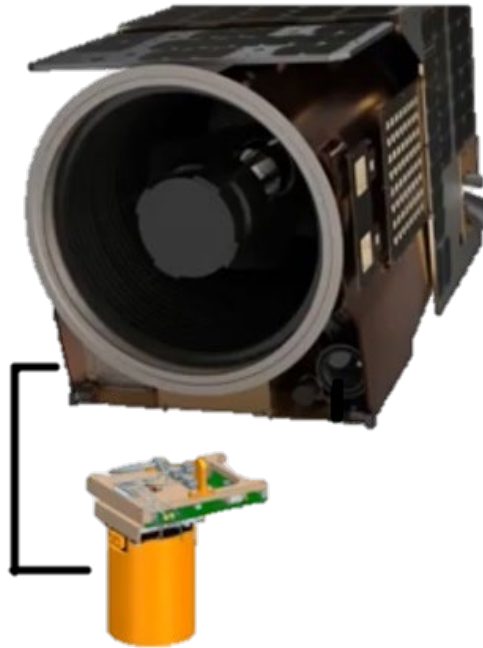
Fuente: Satellogic, 2023

La mayoría de los satélites convencionales, para obtener la cantidad de luz necesaria, poseen un gran telescopio, pesado y con un despegue muy costoso. En el caso del modelo MARK-V para obtener la cantidad de luz necesaria, lo que se hizo fue estabilizar el plano focal usando óptica adaptativa para obtener un tiempo mucho mayor de exposición e incrementar la captación de luz de forma eficiente. Con esta técnica los ingenieros de la compañía pudieron obtener una resolución mayor en las cuatro bandas multispectrales en que trabajaba la cámara. Este sistema de estabilización permitía la captura continua, por lo que no era necesario redirigir el satélite hacia el objetivo para compensar el movimiento, ya que era posible apuntar directamente a otro objetivo y capturar datos en tiempo real.

La cámara principal está secundada por una plataforma de computación de alto rendimiento que permite no solo bajar las imágenes en crudo, sino también procesarlas casi en tiempo real, lo que favorece un proceso de toma de decisiones más rápido. También, la carga útil secundaria comprende una computadora de última generación capaz de correr modelos de inteligencia artificial y obtener datos, mediante los cuales se podrían construir perspectivas para la detección de objetos y la emisión de alertas tempranas ante la emergencia de eventos relevantes. Estas computadoras posibilitan

evaluar y reconfigurar el plan de captura basado en los eventos de tierra y cambiar la prioridad de descarga de los datos para obtener resultados más rápidos y con una relación de latencia más baja sin esperar a que el satélite pase por la otra estación terrena.

Ilustración 38. Carga útil secundaria



Fuente: Satellogic, 2023

Uno de los requerimientos técnicos era que la plataforma debía ser ágil, de bajo costo y potencia y masa reducida. Para alcanzar ello, era necesario replicar tales especificaciones en cada uno de los subsistemas del satélite. Si bien la plataforma permite el agregado de hardware e instrumentos especiales de acuerdo a las necesidades de los clientes, los límites de estos se ubican en torno al kilogramo de masa y un consumo de potencia máxima de 20W.

El subsistema de control de actitud y órbita (AOCS, por sus siglas en inglés) permite mover el satélite en órbita a través de una serie de sensores y actuadores. Los primeros son unos dispositivos que miden la distancia del artefacto respecto a los principales cuerpos celestes, Sol, Tierra y Luna. También existen unos sensores inerciales que miden la velocidad y la dirección del satélite. Los actuadores, por su parte son unos dispositivos utilizados para corregir la posición del satélite, en base a una serie de datos recogidos por un software específico. Existen varios tipos de actuadores: 1- los motores de reacción que posibilitan mover el satélite; 2- las ruedas de inercia para cambiar la posición del

artefacto, pero conservando el momento angular; y 3- los magnetómetros, que mediante una fuerza magnética mueven el satélite.

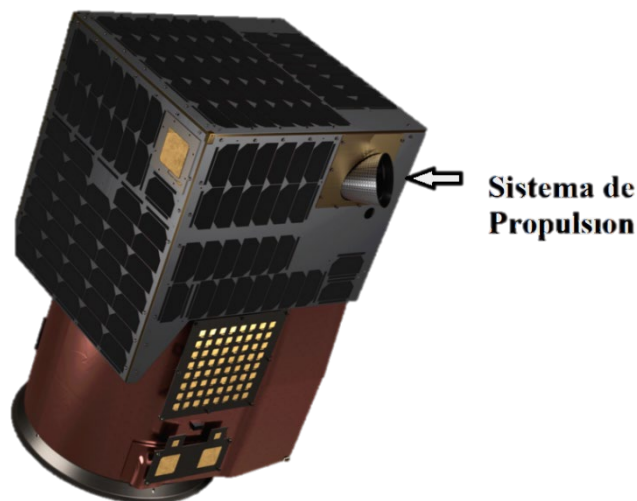
Tabla 10. Subsistema AOCS

Características del subsistema AOCS	
Tipo de control de actitud	3 ejes estabilizados
Velocidad de giro	4 grados/Seg
Error de actitud conocido	0,006 grados CEP 90% (60m)
Precisión total de apuntamiento	0,012 grados CEP 90% (120m)
Delta V	60 m/s (100 Km SSO cambio de altitud)

Fuente: Satellogic, 2023

En los satélites NUSAT, el subsistema debía dimensionarse de acuerdo a los requerimientos generales de la plataforma, puesto que la inclusión de grandes actuadores insumiría mayor cantidad de energía. Esto requeriría paneles solares más grandes e incluso desplegados, que a su vez demandarían circuitos de potencia más grandes. Respecto a los giróscopos, magnetómetros y sensores, los satélites contaban con dos “rastreadores de estrellas” (*star trackers*) los cuales estaban posicionados de tal manera que ninguno de ellos esté cegado ni por el Sol ni por la Tierra. La integración de todos estos artefactos permite obtener una estimación de posición anticipada próxima a los sesenta metros y luego, con el bucle de control, se alcanzaba un punto de precisión de ciento veinte metros.

Ilustración 39. Subsistema de propulsión



Fuente: Satellogic, 2023

Mientras el subsistema de control de actitud se ocupa de posicionar el satélite y corregir su dirección producto de los efectos que genera la fuerza gravitatoria de los cuerpos celestes, el subsistema de propulsión se encarga de desplazar el satélite entre distintas órbitas. Este puede lograr la circularización de la órbita, modificar la altitud hasta 100 kilómetros e incluso mantener cierta sincronidad con la Tierra. El sistema de propulsión de los satélites NUSAT está conformado por un motor, primero impulsado a través de gas butano, y luego de forma eléctrica. Este último motor fue un desarrollo del ITBA (Argentina en el espacio, s/f). La inclusión de un sistema de propulsión eléctrico favoreció aún más la eficiencia del artefacto, puesto que la mayor parte de la plataforma era aprovechada por los instrumentos de la carga útil, principal y secundaria.

Los satélites NUSAT cuentan con un subsistema de comunicaciones que emite señales en banda X y S. Es decir que tienen dos canales de radio que trabajaban en 345 MHz, los cuales monitorean continuamente la relación señal a ruido y seleccionan el código de modulación más eficiente para optimizar la descarga de datos que, como máximo puede llegar a 1,3 Gbps. Esto implica que los componentes permiten 70 Gb de información de bajada por pisada, lo que garantiza la descarga casi en tiempo real de los datos producidos a partir del procesamiento de las imágenes que capta la cámara principal. Los comandos de telemetría utilizados se encuentran encriptados con algoritmos aprobados por el National Institute of Standards and Technology (NIST).

Tabla 11. Subsistema de comunicaciones

Características del subsistema de comunicaciones	
Tasa de bits de telemetría y control	300 Kbps
Banda de frecuencia de subida	Banda S
Banda de frecuencia de bajada	Banda X
Estándar de bajada de datos	DVB-S2X
Máximo ancho de banda de bajada de datos	345 Mhz

Fuente: Satellogic, 2023

El subsistema de potencia se encuentra constituido por los paneles solares y baterías que mantienen operativo el satélite en el espacio exterior. En el caso de los NUSAT, estos componentes fueron cuidadosamente dimensionados para soportar las condiciones de operación de las cámaras y todos los buses de comunicación necesarios para descargar los datos, así como también para sostener la vida útil del satélite. La capacidad de

generación de energía de los paneles es de 55W y la de las baterías es de 180 Wh. La profundidad de descarga de todo el subsistema de potencia es menor al 20%. Este dimensionamiento también incluye la operación de los instrumentos de la carga útil secundaria, tales como la plataforma de computación de alto rendimiento con la que se podían procesar todos los datos capturados en tiempo real.

Tabla 12. Subsistema de potencia

Características del subsistema de potencia	
Generación de potencia	55 Watts
Capacidad de la batería	180 Wh.
Profundidad de descarga de la batería	< 20%

Fuente: Satellogic, 2023

Todas estas características visibilizan los cambios técnicos que introdujeron los ingenieros de Satellogic en los diferentes modelos de satélites, y en especial entre el Mark-IV y el Mark-V con el fin de volverlo más eficiente.

Ilustración 40. Buenos Aires visto por un satélite NUSAT modelo Mark-V



Fuente: <https://satellogic.com/2024/03/20/newsat-mark-v-satellite-enhancements-overview/>

Entre las mejoras introducidas se encuentran una mejor calidad de imagen con una claridad visual de 50 cm. Esto posibilita a los usuarios crear mapas y realizar análisis más

detallados, así como seguir objetos específicos en puertos y bases aéreas. También, al tener una franja de banda más ancha permite a los usuarios geoespaciales monitorear áreas más grandes.

Tabla 13. Comparación técnica entre Mark-IV y Mark-V

	Mark-IV	Mark-V
Recopilación de datos nativos	99 cm	70 cm
Super Resolución (SR)	70 cm	50 cm
Ancho de banda	5 km	6.5 km
Longitud máxima por órbita	2000 km	9000 km
Capacidad de Recolección Diaria	125.000 km ² /día	350.000 km ² /día

Fuente: <https://satellogic.com/2024/03/20/newsat-mark-v-satellite-enhancements-overview/>

Entre ambos modelos de satélites se registró un incremento considerable en la capacidad de recolección de información, la cual casi se triplicó. Con ello, Satellogic se propuso como siguiente hito, remapear la superficie terrestre de manera diaria con la captura de cada kilómetro. El objetivo de ello es crear un catálogo de imágenes de alta resolución de bajo costo y favorecer un uso generalizado de las mismas en la toma de decisiones. Sin embargo, ello se enfrenta en muchas ocasiones a la ausencia de conocimientos entre los usuarios para la lectura y análisis de las imágenes.

Los fundadores de Satellogic desarrollaron modelos con inteligencia artificial con el fin de simplificar la extracción de los datos. Además, tienen planificado integrar a la plataforma Aleph una aplicación conversacional, llamada Gaia, para favorecer la interacción de los usuarios con las imágenes. Ello favorecería el acceso y exploración del catálogo de una forma más intuitiva, al tiempo que permitiría automatizar búsquedas y vincular los resultados con otras aplicaciones. Dado que el sistema cuenta con actualización constante, los usuarios podrían realizar seguimientos, emitir alarmas y obtener datos en tiempo real.

La integración de la inteligencia artificial con las capacidades de procesamiento a bordo de los satélites permite la realización de análisis preliminares en órbita. Como consecuencia no solo genera una reducción del tiempo de acceso a los datos, sino que reduce el ancho de banda necesario para la descarga de imágenes. Solo se descarga la información crítica necesaria.

Si bien desde un inicio, los fundadores de Satellogic promovieron la democratización del acceso al espacio, los datos producidos por los NUSAT no son públicos ni abiertos a la

sociedad, sino que son productos comercializados por la compañía. Aún así, sus socios sostienen que la apertura sigue siendo una meta a alcanzar.

Capacidades tecno-productivas: la resolución de problemas de forma creativa

Durante los primeros años de la empresa, los profesionales de Satellogic Inc. habían resuelto de manera no convencional para la industria espacial los problemas que presentaban los satélites prototipo (Beto, Manolito y Tita). En otras palabras, aplicaron conceptos propios de la cultura hacker y metodologías ágiles, algo característico de la industria del software.

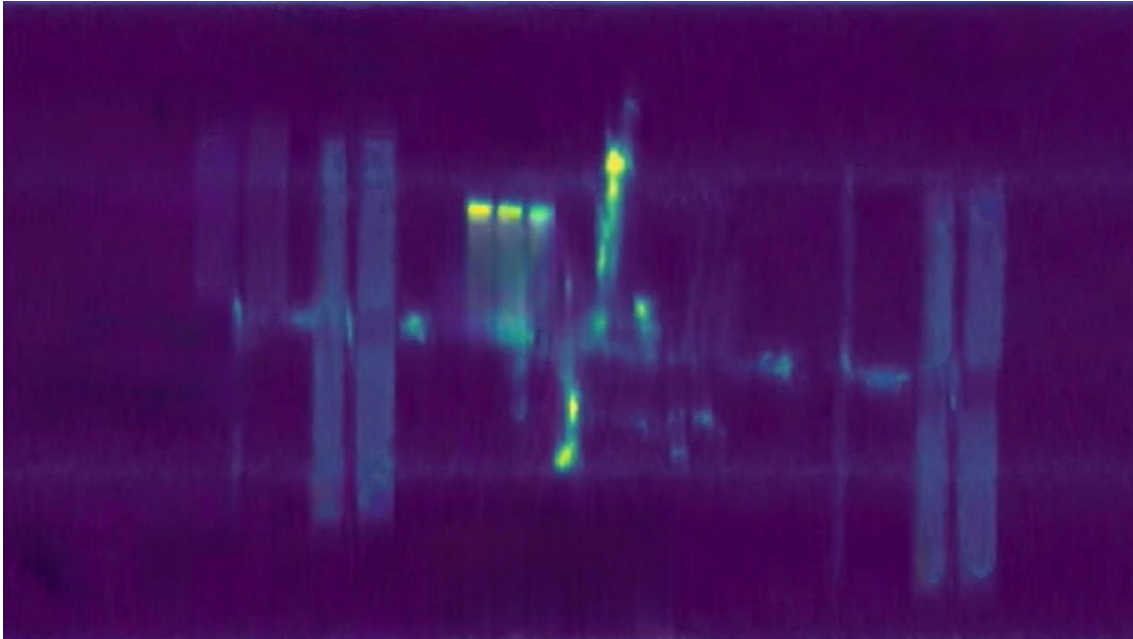
Si bien esta estrategia aplicada a satélites experimentales implicaba ciertos riesgos — especialmente al trasladarla a satélites producidos en serie, en órbita y con fines comerciales—, también permitió la acumulación de conocimientos y capacidades específicas. Estas bases fueron fundamentales para que ingenieros y técnicos pudieran enfrentar futuros problemas y desafíos. En este subapartado se consideraron tres experiencias que en cuanto a hechos estilizados permiten analizar dinámicas específicas de la generación de capacidades tecnológicas y no como una muestra de un conjunto agregado.

Un día viene un cliente y nos dice que quería sacar la foto de algo, pero ese algo no era un pedazo de tierra, ese algo era la estación espacial o sea la Estación Espacial Internacional. Eso tiene unos cuantos desafíos, por un lado, yo les decía 'el satélite se está moviendo a 28.000 kilómetros por hora, la estación espacial también, entonces ya no es que voy en un auto yendo súper rápido y tengo que apuntarle a una cosa que está quieta. Ahora es en un auto yendo súper rápido, apuntarle a una cosa que está yendo súper rápido en una dirección completamente distinta'. Entonces empiezan a aparecer cosas como ¿por cuánto tiempo lo vas a ver? Mantener apuntado el satélite a la estación espacial es imposible ¿por qué? Porque la velocidad a la que tendrías que girar cuando te cruza bien por abajo es imposible de lograr con nuestros satélites y con casi cualquier satélite, entonces la solución fue, no vamos a seguir a la estación espacial, vamos a sacar una foto en un momento que nosotros estamos seguros de que la estación espacial va a estar cruzando por

ahí abajo, sí tiene que tener un *timing* ultra perfecto. Nosotros sacamos a varios *frames* por segundo y la estación espacial la íbamos a ver con suerte en un *frame*, si estaba perfectamente *timeado*. Si no está *timeado* incluso en el tiempo entre *frames* podía pasar la estación espacial entera y salir del campo de visión y no verla. Después otro problema era, si sale la estación tuvimos suerte queda en el *frame*. Imagínense lo que es una foto de algo moviéndose a 28.000 km por hora. No va a salir quieta la foto. Te va a salir recontra movida. Obviamente había que laburar un poquito ahí en: ¿cuánto tiempo de exposición le ponemos? y todo con la cámara para lograr que sea lo menos movido posible para que no salga *blureada* [foto movida o desenfocada] pero igual *blureada* iba a salir. En esto me tocó laburar bastante y justamente el primer tiempo fue bueno, dijimos ‘agarremos la herramienta que tenemos’. Tenemos un satélite que le puede sacar fotos al piso, queremos sacarle a la estación espacial, bueno la estación espacial no va a ser parte de la foto en sí, o sea la foto la vamos a calcular al piso, vamos a hacer una foto en este punto en tierra de forma de que cuando esté sacando los *frames* [marcos] si está todo bien *timeado* [calculado a tiempo] justo la estación espacial te hace un “foto boom” en el medio y aparece adelante del piso, es un manera completamente distinta de usar el satélite de cómo estaba planeado, que era para sacarle fotos a cosas en tierra. Terminó como un producto, o sea, dijimos bueno, ahora sí vamos a desarrollar más en serio y se productivizó, es más quedó andando y hoy ese cliente lo está usando un montón (Ekoparty Security Conference, 2022, 14m35s).

La extensa cita que da inicio a este subapartado es representativa de los desafíos que afrontó la empresa en su afán de resolver problemas mediante el uso de la tecnología satelital. Al mismo tiempo, es representativa de las amplias capacidades con que contaba Satellogic Inc., que no solo le permitían fabricar satélites en ocho meses y mantenerlos operativos, sino resignificar los objetivos de la misión ante la demanda de los clientes.

Ilustración 41. Foto de la Estación Espacial Internacional



Fuente: Ekoparty Security Conference, 2022

La solicitud de una fotografía de la Estación Espacial Internacional condujo a los ingenieros de la compañía a superar desafíos técnicos, tales como orientar el satélite no hacia la Tierra sino hacia un cuerpo en el espacio exterior. Dado que ambos cuerpos se encuentran en constante movimiento, los ingenieros ensayaron diversas soluciones técnicas. Finalmente, evaluaron que la más apropiada consistía en sacar una fotografía de un punto de la Tierra que reflejara la Estación, lo que requería de suma precisión y ajustes de tiempo para respetar la ventana de trabajo. Esta decisión se basaba en conocimientos físicos, específicamente de óptica, pero también en conocimientos propios de la dinámica orbital. Estos últimos eran necesarios para calcular las trayectorias de los satélites y la Estación, así como para calcular las ventanas de observación y la toma de la fotografía.

En la resolución del desafío que implicó la toma de una fotografía a la Estación Espacial se combinaron los conocimientos propios de la industria del software, en especial las metodologías ágiles, pero también los saberes de la industria espacial. Dicha articulación promovió al interior de la empresa un incremento en las capacidades disponibles. Además, posibilitó una redefinición del marco tecnológico satelital. A nivel internacional y en el país numerosas empresas y/o entidades educativas siguieron dinámicas similares al considerar entre los requerimientos iniciales el bajo costo de las misiones.

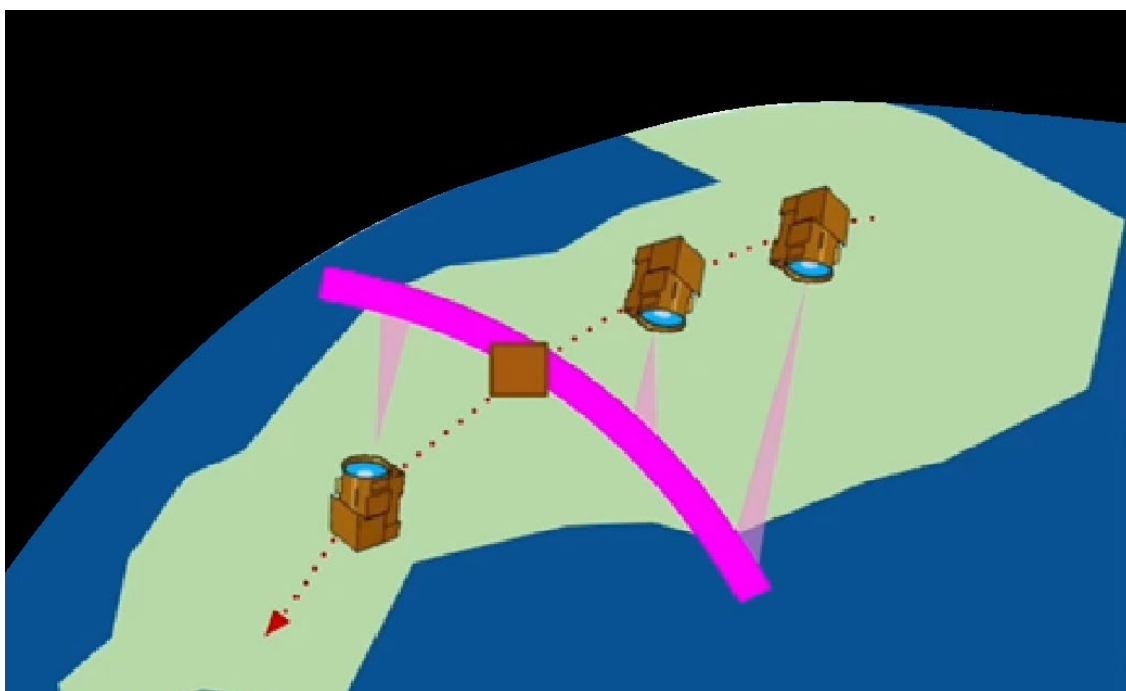
Un día vienen y me dicen 'necesitamos una foto de 200 km de largo'. Perfecto, sí, una foto de 200 kilómetros, no hay problema. 'Bueno, pero necesitamos que se baje rápido porque es para una demo para un cliente'. Bueno, es una foto de 200 km, nada del otro mundo, pero cuando me pasan el *target* ahí me di cuenta que no era una foto normal. El *target* estaba completamente perpendicular a la órbita, era de un proyecto de una mega ciudad que es una línea recta de 170 km de largo llamada The Line en Arabia Saudita, o sea una ciudad que es un solo edificio de 170 km de largo y decidieron hacerla alineada al Ecuador, o sea, completamente acostada respecto al planeta. Entonces la foto que querían que saque era de 200 km de largo, pero totalmente perpendicular a como venía el satélite. Entonces el desafío de esto era ¿nos dan los límites para hacer esa maniobra? jamás habíamos intentado una maniobra así extrema de 200 km quiere decir que si yo soy el satélite y me estoy moviendo perpendicular al *target* voy a tener que empezar a rotar, darme vuelta y terminar en otra posición [tal como se muestra en la ilustración 29]. Por la cantidad de movimientos que tiene que hacer el satélite es bastante violento. De vuelta *hackeando* parámetros, tocando un poquito la configuración de las cosas, sacándole límites que normalmente no dejamos cruzar y demás, y en una noche de trabajo terminamos haciendo una foto que se terminó viendo bastante bien (Ekoparty Security Conference, 2022).

Este otro caso visibiliza cómo la empresa cuenta con las capacidades necesarias para cambiar el objetivo de la misión a pedido de un cliente y superar desafíos técnicos que, incluso podían poner en riesgo la continuidad operativa del satélite. La toma de una fotografía de una ciudad alineada al Ecuador terrestre implicaba que los profesionales de Satellogic Inc. debían rotar el satélite para calibrar el apuntamiento de las cámaras principales. Sin embargo, dichos movimientos requerían un análisis en profundidad, puesto que conllevaban riesgos para los componentes de la carga útil primaria y secundaria, puesto que si las cámaras quedaban apuntadas directamente al Sol, los componentes electrónicos del satélite sufrirían deterioros irreversibles.

Los profesionales de la empresa evaluaron la posibilidad real de cumplir con las demandas de los clientes, así como los costos en relación a los beneficios que conllevaba tal solicitud. Luego de la toma de decisiones que dio curso al pedido, los ingenieros y

técnicos analizaron las modificaciones que debían introducirse en las maniobras nominales, los cambios en los distintos parámetros y los riesgos asociados. Tras ello, concluyeron que si bien los cambios eran extremos, la empresa estaba decidida a asumir el desafío tecnológico.

Ilustración 42. Esquema del movimiento del satélite para la toma de la ciudad saudita The Line



Fuente: Ekoparty Security Conference, 2022

Los ingenieros y técnicos alteraron varios de los límites impuestos a la operación nominal del satélite al tiempo que diseñaron nuevos procedimientos de maniobra para contingencias. En este caso, las contingencias no venían dadas por eventos espaciales o deterioros en algunos de los subsistemas y/o componentes, sino porque el artefacto debía adoptar una configuración *ad hoc* que le permitiera cumplir con la demanda específica de un cliente.

Y una última cosa rara que tuvimos que hacer, es el hecho de las capturas de multi *target*. Para hacer una foto tenés que prender un montón de sistemas, primero preparar un montón de otros sistemas, después sacas la foto y después tenés que encodear⁵⁴ y guardar los *frames* y más tarde procesarlos para la

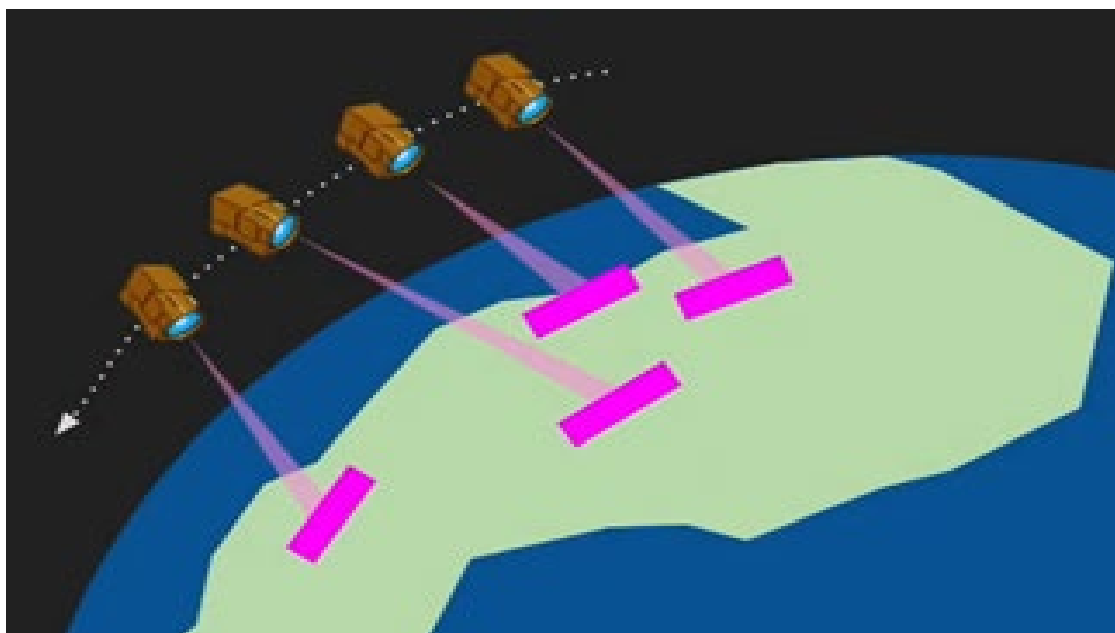
⁵⁴ El término encodear refiere a la codificación que se realiza para convertir un movimiento mecánico en impulsos eléctricos.

descarga. Luego hacer el apagado de ese montón de sistemas que estabas usando, eso lleva unos minutos. Cuando vos estás queriendo hacer un *target* cada tanto eso no es un problema, pero, por ejemplo, viene alguien y te dice 'quiero sacarles una foto a todos los estadios de fútbol de España'. Son un montón de puntitos que están todos ahí juntos y vos si haces la foto así, normal, diciendo enciendo todo (tiempo largo) saco la foto y después apago todo (tiempo largo). ¿Qué va a pasar en cada pasada por arriba de España? Que solo vas a poder hacer un solo *target*, pero están todos esos puntos. Vas a necesitar un montón de pasadas, un montón de órbitas en un montón de días distintos para hacer un montón de *targets*. Todo eso suponiendo que el ancho de banda para bajarlos y todo te daban, pero simplemente los tiempos de esos no te están dejando hacer. Entonces ahí se le ocurrió una idea a alguien que fue que podíamos tratar a todos esos *targets* con una sola foto, simplemente agregando maniobras en el medio y diciendo para la cámara, para el software de la cámara y los que controlan ciertos sistemas 'esto va a ser una sola foto'. Vamos a hacer una foto, pero en realidad durante esa foto nosotros vamos a estar metiendo instrucciones de maniobras y diciendo 'bueno, ahora apuntale al estadio del Barcelona y ahora metemos otra instrucción de maniobra que hace que apuntes al del Real Madrid y así, entonces el satélite se va moviendo en el medio'. Primer problema de esto, todas las fotos en el medio son un desastre, no sirven de nada. Bueno, por suerte teníamos un parámetro de descarte de *frames*, entonces le pasamos esos rangos y le decíamos estos *frames* no los guardes. Entonces con muy poco logramos en algunos casos hasta cuadruplicar o quintuplicar la cantidad de *targets* que podíamos hacer en una órbita, porque ahora pasamos por una zona que tiene un montón de *targets* al lado del otro y las maniobras daban para hacer un montón de fotos juntas, así que de vuelta eso era algo que cuando se diseñó este satélite nadie se lo imaginó. O sea, el diseño original era se enciende la cámara, hace una foto de un *target*, se apagan todas las cosas y terminamos diciendo 'bueno, sí, se enciende la cámara, pero tiene cinco *targets* adentro. Después apagaba todo y después se baja eso (Ekoparty Security Conference, 2022).

La extensa cita presenta un nuevo problema surgido ante las demandas de los clientes. En este caso, el requerimiento era obtener una única fotografía con todos los estadios de

fútbol existentes en España. Ello implicó un desafío porque con cada pasada que el satélite realizaba por la órbita podía, según su diseño, hacer foco en una de esas construcciones. Ante este inconveniente los profesionales de Satellogic Inc. evaluaron dos alternativas: 1- la captura de varias fotografías por diferentes pasadas del satélite a lo largo de varios días; y 2- la realización de maniobras *ad hoc* para la captura de varias de las edificaciones en varias fotografías simultáneas. La segunda de las soluciones propuestas fue finalmente la adoptada.

Ilustración 43. Esquema de las maniobras para la toma de una foto multi targets



Fuente: Ekoparty Security Conference, 2022

La decisión de tomar varias fotografías simultáneas implicaba que los profesionales de la empresa debían realizar múltiples maniobras de contingencia para mover el satélite y lograr que las cámaras principales y secundarias queden alineadas a los objetivos. Ello demandaba el diseño y la ejecución de nuevos comandos en una ventana de tiempo breve. Tales tareas requieren de saberes específicos y precisión. Los ingenieros y técnicos de la empresa contaban con conocimientos acumulados en la materia, puesto que el diseño y ejecución de maniobras de contingencia para la prestación de servicios específicos se había constituido en una actividad relativamente frecuente para Satellogic Inc.

Además del diseño de las maniobras, los profesionales de la compañía debieron resolver otro inconveniente: muchas de las fotografías tomadas no tenían la calidad deseada por lo que debían descartarse. Sin embargo, dicha tarea no podía realizarse de manera manual,

dado que hubiera insumido una gran cantidad de tiempo. Tampoco, podía realizarse tras la descarga y procesamiento de los datos, puesto que ello también hubiese incrementado los tiempos de trabajo. El personal de Satellogic Inc. diseñó un software en el que podían incluir los parámetros con los que evaluaban los productos de los satélites. Entonces, la definición de ciertos rangos de aceptación en cada uno de esos parámetros facilitó el descarte de aquellas fotografías que no cumpliesen con los mismos. Esto permitía ahorrar tiempo, lo que se traducía en un ahorro de dinero para la compañía.

En general, las soluciones implementadas respondieron a la lógica de *hackers* que tenían los fundadores de la empresa. Ellos no estaban interesados en construir artefactos redundantes y estabilizados, sino artefactos de bajo costo y mejorables con el tiempo. De acuerdo a ello, el control de los niveles de riesgo no constituyó un parámetro significativo. El ensayo de soluciones novedosas y la adaptabilidad para satisfacer necesidades diversas, incluso en órbita, visibilizan el carácter marginal que mantuvieron los responsables de la empresa respecto al marco tecnológico satelital.

Las soluciones creadas en cada uno de los casos analizados en este subapartado les permitió no solo materializar la solicitud de los clientes, sino la creación de un nuevo producto que rápidamente se introdujo en el mercado, entre los cuales se destacaron las *fotografías multi target*.

4.5. Balance del capítulo

La fabricación de los primeros satélites -Capitán Beto, Manolito y Tita- dieron cuenta de las múltiples capacidades tecnológicas que tenía Satellogic. Sin embargo, la materialización de la serie NUSAT no solo amplió las ya existentes, sino que posibilitó la generación de nuevas capacidades. Por un lado, la compañía contaba con capacidades tecno-productivas o capacidades de producción en términos de Lall (1992) que le permitieron diseñar y construir diez satélites en ocho meses. Esas mismas capacidades permitieron el diseño de un nuevo modelo con cámaras más eficientes para la toma de fotografías, resolver problemas, generar soluciones creativas y mantener en operación una constelación de varias decenas de satélites. Por otro lado, Satellogic Inc. contaba con capacidades de inversión, aspecto fundamental tanto en la apertura de la planta de producción en Uruguay como la de varias oficinas en distintas latitudes del planeta.

Las capacidades de inversión no se reducen al financiamiento con el que cuenta la empresa de manera directa, sino que incluye las potencialidades generadas a partir de los vínculos que sostienen sus socios fundadores con empresarios y fondos financieros alrededor del mundo. En ese sentido, las capacidades de inversión se encuentran estrechamente vinculadas a las capacidades de vinculación. Estas últimas resultaron fundamentales en el ingreso de Satellogic Inc. al mercado estadounidense, a la bolsa de Nueva York, a la articulación con empresas como Space X, entre otros.

Satellogic Inc. no es la única entidad que en Argentina produce imágenes satelitales. Sin embargo, la empresa cuenta con un historial exitoso en la comercialización de las mismas. Esta actividad le permitió a la compañía desarrollar nuevas unidades de negocio, desde la creación de modelos de lenguaje visual mediante inteligencia artificial y la generación de grandes volúmenes de datos con alta definición hasta la provisión de satélites llave en mano.

La articulación con Space X y la integración vertical de la empresa le permitieron comercializar plataformas satelitales del modelo Mark-V en órbita; incluir de manera opcional el soporte de extremo a extremo (la operación del segmento terrestre y la gestión de datos); y la complementación con los datos obtenidos por la constelación propia. Cabe agregar que, pese a que Satellogic Inc. es una corporación reconocida en el mercado estadounidense, la comercialización de la plataforma satelital se encuentra excluida de la normativa que regula el Tráfico Internacional de Armas (ITAR, por sus siglas en inglés)⁵⁵. Ello resulta un atractivo para sus clientes, puesto que la sujeción a tales regulaciones impide u obstruye el acceso a la tecnología espacial.

Esta particularidad que logró Satellogic Inc. merece mayores niveles de explicación, en especial para responder la siguiente pregunta ¿Cómo Satellogic Inc. logró comercializar tecnología sensible sin estar sujeta a las regulaciones del Departamento de Estado de EE.UU.? Si bien el acceso a la información constituyó una limitación para abordar este

⁵⁵ En 1976 el gobierno de EE.UU. sancionó la Ley de Control de Exportación de Armas, implementada tres años más tarde. Bajo esta ley, se desarrollaron una serie de Regulaciones sobre el Tráfico Internacional de Armas (ITAR por sus siglas en inglés) que incluyó una lista de artículos tecnológicos con valor militar, cuya exportación quedaba estrictamente bajo la vigilancia y aprobación del Departamento de Estado. Dentro de esta lista estaba la tecnología espacial debido a su carácter dual, por lo que quedaba restringida la exportación de las mismas. Esto contemplaba el diseño, desarrollo, producción, operación, reparación y mantenimiento de la misma, así como de las tareas de asistencia, transferencia de información, entre otras (Cáceres, 2024).

interrogante, una respuesta plausible puede contemplar el carácter global de Satellogic, cuya sede de I+D estaba en Buenos Aires y su planta productiva en Uruguay. En ese sentido, la empresa pudo sortear algunas de las restricciones que imponían las regulaciones norteamericanas a la circulación de tecnología espacial.

En resumen, la convergencia de las capacidades tecnológicas, de inversión y de vinculación que logró desarrollar Satellogic Inc. fue crucial para su éxito y expansión en el competitivo mercado espacial. La habilidad de la empresa para combinar la alta eficiencia en la producción de satélites con una sólida base financiera y relaciones estratégicas permitió no solo la creación de nuevas soluciones innovadoras, sino también el acceso a mercados internacionales clave. Finalmente, esta integración de capacidades propició que la empresa se posicione como un actor global destacado y con la capacidad de ofrecer productos satelitales avanzados con un alto nivel de flexibilidad y adaptabilidad.

Capítulo 5

CONCLUSIONES FINALES

En esta tesis se analizó la trayectoria de la empresa Satellogic entre el período 2010-2023 con el objetivo de responder el siguiente interrogante ¿Cómo una empresa privada sin conocimientos específicos en el sector diseñó, fabricó y operó varias decenas de satélites de forma exitosa? Ello llevó a que se consideraran las capacidades de absorción que tenía la empresa al momento de iniciar el proyecto satelital, así como las capacidades tecnológicas generadas durante el desarrollo del mismo. Pero también fue preciso reflexionar en torno a cuáles eran las características imperantes y las prácticas estabilizadas de trabajo en la industria satelital, puesto que la dinámica de Satellogic conllevó a un alejamiento y/o discusión de tales estándares, en torno al diseño y fabricación de nano y micro satélites.

El análisis de esta experiencia no puede reducirse a una historia de éxito empresarial adjudicada a la visión y carácter especial de sus socios fundadores. Tampoco constituye una excepción en el sector. Es por ello que en este capítulo se presenta un balance de la investigación en sus dimensiones teóricas y empíricas dando cuenta de los alcances y los límites del caso bajo estudio.

Para responder la pregunta que dio origen a esta investigación resultó clave la articulación de conceptos provenientes de dos matrices teóricas diferenciadas. Por un lado, el de marco tecnológico e inclusión, propios de la sociología de la tecnología en su vertiente constructivista. Y por el otro, el de capacidades, conocimientos y aprendizajes, conceptos de la economía del cambio tecnológico. La articulación de las matrices teóricas no resulta original puesto que se desarrolló en investigaciones previas, tanto a nivel teórico como a nivel empírico. Sin embargo, dicha combinación resultó útil para construir inteligibilidad a los procesos sociales, económicos y políticos que involucraron tecnologías conocimiento intensivas en el espacio.

5.1. Desafíos y ampliación del marco tecnológico satelital

El concepto de marco tecnológico surgió para explicar el desarrollo de plásticos sintéticos a inicios del siglo XX ante la inminente escasez de plásticos naturales. Por entonces, químicos con conocimiento en el manejo del celuloide y productores de plásticos naturales ensayaron diversas soluciones que resultaron infructuosas. Según Bijker (1987), el marco tecnológico de los químicos del celuloide y de los ingenieros expertos en la producción de goma dura no les permitía formular nuevas preguntas ni desarrollar nuevas estrategias que posibilitaran la producción de la baquelita. El surgimiento de este material fue posible debido a la inclusión de personal ajeno a ambos marcos tecnológicos, capaces de pensar nuevas aristas al problema de fabricar un plástico maleable.

Este concepto también fue utilizado para explicar la controversia surgida en torno a la clonación embrionaria entre 1981 y 1986. El problema surgió a partir de la publicación de un artículo en que tres investigadores afirmaban haber clonado ratones a partir de células embrionarias, experimento que no pudo ser replicado. Ello derivó en serios cuestionamientos a la clonación en sí misma y las posibilidades reales de materializarla. Sin embargo, entre 1986-87 se produjeron los primeros animales clonados y diez años más tarde nació Dolly, la primera oveja nacida bajo clonación. ¿Cómo fue resuelto el problema? Los investigadores que estuvieron al frente de la clonación exitosa eran biólogos de la reproducción y trabajaban con animales de granja (ovejas y vacas). A diferencia, los biólogos del desarrollo que veían imposible la clonación de células embrionarias trabajaban con ratones. La inclusión de este último grupo en un marco tecnológico que determinaba que los ensayos de laboratorio debían realizarse únicamente sobre roedores condicionaban la búsqueda de soluciones alternativas (Fressoli y Thomas, 2008).

Como se puede apreciar, la noción de marco tecnológico permite identificar los conceptos y las técnicas empleadas de forma habitual por un determinado grupo de actores. Ello resulta clave para entender los razonamientos, la forma en que el grupo construye los problemas, y como estos condicionan las potenciales soluciones. En ese sentido, la resolución de problemas debe ser leída como una noción amplia que incluye tanto el reconocimiento de aquello que cuenta como problema, las estrategias disponibles para resolver tales problemas, así como los requerimientos que una solución debe poseer.

En la trayectoria de Satellogic se registró la confluencia de dos grupos de actores, los ingenieros satelitales y los profesionales del software. Si bien desde el sentido común puede pensarse que existen prácticas y razonamientos comunes entre ambas actividades, las mismas están estructuradas a partir de preconceptos que performan acciones, estrategias y metodologías de trabajo diferenciadas.

Los fundadores de Satellogic formaban parte del marco tecnológico propio de la industria informática o computacional. Sin embargo, ambos socios cuestionaban el funcionamiento de los sistemas electrónicos o informáticos y buscaban de forma activa fallas para generar una mejora en los mismos. En ese sentido, estos actores tenían una inclusión subordinada dentro del marco de los informáticos, debido a que sus prácticas de *hackers* comúnmente estaban asociadas a actividades de espionaje u otras prácticas delictivas.

Por su parte, los ingenieros de la industria espacial compartían un marco tecnológico que estaba estructurado en torno a las especificaciones de trabajo de las grandes agencias internacionales, la NASA y la ESA. CONAE, INVAP S.E. y ARSAT S.A. trabajaban con dichos estándares, los cuales planteaban con sutiles diferencias entre sí los hitos que debían atravesar las misiones satelitales. Los ingenieros y técnicos incluidos dentro de este marco tecnológico compartían ideas en torno a la necesidad de reducir los niveles de riesgos, mediante el aprendizaje de fallas pretéritas. Es decir, trabajaban con altos parámetros de calidad con el fin de evitar fallas que pusieran en riesgo la misión y en especial aquellas que estaban asociadas a errores humanos.

Para los ingenieros satelitales todos los componentes y subsistemas deben ser sometidos a pruebas y ensayos ambientales con el fin de garantizar su vida útil en el espacio. Si bien tales ensayos difieren si los componentes y/o subsistemas son de calificación o aceptación, las pruebas constituyen un hito en el ciclo productivo de los satélites. En ese sentido, esta industria en general no trabaja con componentes de uso común en el mercado, sino que estos se construyen de manera *ad hoc*. Lo mismo suele ocurrir con los bienes de capital necesarios en las salas limpias. Por lo tanto, los satélites argentinos, y en especial los orientados a fines comerciales como los de ARSAT S.A., fueron sometidos a varios ensayos ambientales.

Además, los ingenieros satelitales comparten cierta cultura en la que la codificación y el registro de todos los procedimientos productivos resultan fundamentales, puesto que ello

garantiza la trazabilidad de los procesos productivos. Estos registros no solo garantizan los estándares de calidad exigidos en la industria, sino que son instrumentos de consulta necesarios ante la emergencia de fallas o no-conformidades.

Los fundadores de Satellogic no formaban parte del marco tecnológico satelital, por lo que no compartían los parámetros que estructuraban el mismo. Si bien ello puede constituir un obstáculo, también puede convertirse en una oportunidad para resolver problemas asociados a la falta de tiempo o bajo presupuesto, dimensiones que no se suelen presentar en misiones satelitales complejas. Kargieman y Richarte propusieron preguntas y requerimientos, al tiempo que problematizaron aspectos que desde el interior del marco tecnológico satelital eran impensables, tales como el uso de componentes de bajo costo asequibles en el mercado. Cabe agregar que en el año 2010 cuando se fundó Satellogic el marco tecnológico de lo que después se denominó *New Space* no existía. Tampoco existía como modelo de negocio la explotación privada del espacio. Hasta entonces, sólo algunas universidades y entidades de radioaficionados habían desarrollado de forma experimental (no para la comercialización de un producto) algunos nano-satélites.

La reconstrucción de la trayectoria de Satellogic permitió describir con suficiente detalle los conocimientos y los procesos de aprendizajes que se pusieron en juego en el desarrollo de los primeros nano satélites en Argentina. Este análisis en conjunto con la categoría de marco tecnológico permitió visibilizar dos procesos diferenciados. Por un lado, los fundadores de la empresa a partir de la adquisición de ciertos vínculos y conocimientos específicos se adentraron, aunque de forma marginal, al marco tecnológico satelital. Ello se debió a que el espacio ultraterrestre impone ciertas restricciones a la creatividad humana. Por otro lado, el marco tecnológico satelital sufrió ciertas alteraciones, en algunos casos de gran importancia, tales como la imposición de una impronta resolutive sobre una estructura donde prima la seguridad. Esto no solo estuvo vinculado a Satellogic, sino a la aparición de otras empresas o entidades a nivel internacional que diagramaron nuevos estándares de trabajo, en especial para el desarrollo de constelaciones de nano y micro satélites. Como consecuencia de esto último, en la segunda década del siglo XXI, el sector satelital registra la coexistencia de dos marcos tecnológicos, uno tradicional/ estabilizado y otro emergente/ experimental, sin que por el momento alguno de los dos se imponga como dominante.

5.2. Desarrollo de capacidades, conocimientos y procesos de aprendizajes

Satellogic desarrolló a lo largo de su historia amplias capacidades de inversión, de producción y de vinculación. Las primeras quedaron cristalizadas a través de las distintas instalaciones que tiene la empresa alrededor del mundo. Las segundas mediante el lanzamiento de diez satélites simultáneos, los cuales fueron construidos en ocho meses; y luego, a través de la puesta en órbita de varias decenas de satélites. Finalmente, las capacidades de vinculación, se cristalizaron mediante los distintos contratos firmados con numerosas compañías, entre las que se destacó SpaceX.

Satellogic inició en Buenos Aires con unas instalaciones poco apropiadas para los estándares de la industria satelital. Por lo tanto, la empresa se vio obligada a armar una sala limpia para la integración de los satélites que cumpliera con los parámetros y normas internacionales. Si bien esas primeras instalaciones no eran adecuadas guardaban ciertas similitudes con las que tenía INVAP S.E. en Villa Golf, espacio en el que se integraron los satélites SAC-B y SAC-A a inicios de la década de 1990. Además, los métodos de fabricación empleados también eran similares a los que habían tenido lugar en la empresa rionegrina en los comienzos del área espacial.

La disponibilidad de infraestructura se amplió mediante la adquisición y construcción de nuevas instalaciones, las cuales cumplieron con las normativas internacionales exigidas a las empresas del sector. Esto se materializó no solo con la planta productiva en Uruguay, sino también con la apertura de oficinas comerciales y de procesamiento de datos en distintas ciudades del planeta.

El desarrollo de las capacidades de producción en Satellogic estuvo asentado en distintos procesos de aprendizajes: 1- el aprovechamiento y la resignificación de los conocimientos formales codificados y los conocimientos tácitos que poseían previamente; 2- las interacciones que establecieron con entidades del complejo científico-tecnológico nacional, en especial con INVAP S.E.; 3- la experimentación o desarrollo de actividades de I+D; 4- la satisfacción de la demanda de los clientes y 5- la inclusión de personal especializado.

Los fundadores de Satellogic habían estudiado matemática, lo que los había provisto de conocimientos formales y codificados en dicha disciplina. Si bien no habían estudiado

ciencias de la computación, poseían experiencia en seguridad informática y habilidades de *hackers*, adquiridas a través de la aplicación creativa de los conocimientos disciplinares a los problemas reales. La experiencia práctica generó nuevas habilidades de carácter tácito que podían utilizarse en más de un campo de aplicación. Por lo tanto, las capacidades acumuladas durante el desarrollo de software constituyeron un cúmulo de saberes útiles que fueron resignificados durante la gestión de Satellogic.

En un principio, Satellogic definió los requerimientos generales de las misiones, mientras INVAP S.E. proveía no solo las instalaciones, sino también el personal especializado en el diseño y fabricación de satélites. El *know how* acumulado en la empresa rionegrina fue clave en la materialización rápida del primer nano satélite. Sin embargo, en dicho proceso también intervinieron las habilidades que tenían los profesionales de Satellogic. Estos aportaron además de ideas innovadoras y ajenas al marco tecnológico satelital, formas de trabajo denominadas ágiles que eran propias de la industria informática. Por lo tanto, en el diseño y producción de Capitán Beto y Manolito se registraron interacciones entre Satellogic e INVAP S.E., las cuales favorecieron la articulación y circulación de distintos tipos saberes, tanto codificados como tácitos.

Los profesionales de Satellogic adquirieron saberes generales de la industria espacial, al tiempo que absorbieron algunas especificidades de la dinámica de trabajo en INVAP S.E., tales como: 1- las características que debían tener las instalaciones, en especial la sala limpia aplicada luego en la planta de Uruguay; 2- las normativas de calidad que debían cumplir dichas instalaciones; 3- los bienes de capital utilizados; 4- las formas estabilizadas de trabajo en la empresa rionegrina; 5- interacciones con empresas y/o entidades proveedoras de subsistemas y componentes satelitales tanto del ámbito nacional como internacional; 6- los ensayos ambientales que debían sortear los artefactos que serían puestos en el espacio exterior; 7- los materiales más apropiados para la construcción de artefactos espaciales, entre otros.

La circulación de saberes no fue unidireccional, puesto que los ingenieros de INVAP S.E. involucrados en el proyecto CubeSat absorbieron conocimientos, tales como las metodologías ágiles que son comunes en la industria informática. Los principios que guiaban estos métodos volvían más eficientes algunas dinámicas de trabajo, con el consecuente ahorro de tiempo y costos, algo apreciado en el sector satelital. También, el modelo de negocio que impulsó Satellogic permeó en algunos ingenieros de INVAP S.E.

que lo visualizaron como una oportunidad de trabajo cuando las condiciones político-económicas del país derivaron en la cancelación de algunos proyectos tecnológicos que lideraba la compañía. Como consecuencia, varios ingenieros con pasado en INVAP S.E. y otras firmas argentinas fundaron startups satelitales, algunas de las cuales tuvieron gran éxito comercial.

La integración de los conocimientos a ambos lados no se tradujo en una adopción acrítica de los mismos, sino que dicho proceso generó espacios para la ampliación de las capacidades existentes en cada una de las empresas.

El distanciamiento con INVAP S.E. y la finalización del convenio con el ex MinCyT afectó las interacciones que Satellogic había establecido con parte del complejo científico-tecnológico nacional. Sin embargo, ello no significó la ruptura absoluta, puesto que se registró la continuidad de interacciones con el ITBA, CNEA, INTI, CONICET y UNSAM. Para Satellogic, estas instituciones posibilitaron el acceso a conocimiento especializado y en tanto proveedores de componentes favorecieron la materialización de las misiones satelitales. Para estas instituciones, Satellogic constituyó un nuevo actor que facilitaba y promovía algunas actividades de I+D, al tiempo que generaba o ampliaba las posibilidades de trabajo.

Además de las interacciones que Satellogic entabló en Argentina, se destacan aquellas que estableció con entidades extranjeras. En particular, los fundadores de la compañía tenían amplias habilidades blandas que les permitieron asociarse a instituciones extranjeras e ingresar a mercados que, en general, son de difícil acceso para las empresas nacionales. Core Security y Satellogic lograron comercializar sus productos y servicios en EE.UU., teniendo entre sus clientes a bancos e instituciones gubernamentales. Para conseguir ello resultaron fundamentales los vínculos con personal estadounidense, cristalizados en el ingreso de estos últimos al directorio de ambas compañías.

En términos estrictamente productivos, los profesionales de Satellogic recurrieron a la experimentación o desarrollo de actividades de I+D como método central de aprendizaje. Ello les permitió no solo desarrollar un prototipo, sino también evaluar los parámetros funcionales del mismo. Dicha dinámica les posibilitó la detección de fallas en tierra y en órbita, las cuales les impusieron nuevas revisiones y análisis. Cada uno de los problemas (no-conformidades) que registraron sobre los prototipos constituyeron a su vez nuevos

núcleos de aprendizajes, ampliamente capitalizados por la compañía. Principalmente, la resolución de fallas favoreció mejoras en el diseño que quedaron plasmadas en los nuevos modelos de la plataforma.

Esta estrategia cognitiva también estaba presente en las empresas insertas en el marco tecnológico satelital de tipo tradicional. Estas se enfrentaban a numerosos problemas o no-conformidades que requerían la búsqueda de soluciones. Estos procesos derivaban en estudios donde los ingenieros analizaban las causas inmediatas y las causas raíces de cada uno de los problemas y ensayaban soluciones alternativas. Más allá de estas similitudes, Satellogic mostraba una actitud distinta frente a estos problemas, en general por el lugar dado a la gestión de riesgos. A diferencia de las firmas que actúan bajo el marco tecnológico satelital tradicional en que el riesgo es un factor clave de análisis, para Satellogic el riesgo estaba subordinado a otros principios, tales como la reducción de costos y el ofrecimiento de soluciones a problemas reales a través de la comercialización de los servicios satelitales. Ello sometió a los artefactos a fallas, en algunos casos innecesarias.

Las solicitudes de los distintos clientes fueron otro de los núcleos de aprendizajes, al tiempo que ilustran en tanto hechos estilizados la posición de la empresa frente a la noción de riesgo. Si bien la demanda en general estaba predefinida, los profesionales de Satellogic se enfrentaron a pedidos que desafiaron sus conocimientos, así como a la operación nominal del satélite. Estas solicitudes dieron lugar a reuniones de trabajo en las que los ingenieros, técnicos y demás profesionales discutían y ensayaban soluciones alternativas. Cada una de estas soluciones requería de estudios pormenorizados que sustentaban la posterior toma de decisiones en torno a la aceptación o no del pedido, y la gestión del mismo.

Cabe destacar que en muchas ocasiones el desafío que imponían las solicitudes de los clientes eran extremas, por lo que su cumplimiento implicaba la puesta en riesgo del satélite. En general, ello no constituyó un obstáculo para que la empresa satisficiera la demanda, debido nuevamente a la visión temeraria que Satellogic tenía del riesgo.

Finalmente, la empresa incrementó sus capacidades a partir de la incorporación de personal especializado. Si bien los fundadores de Satellogic no tenían conocimientos satelitales específicos, sí requirieron contar con profesionales formados en óptica, en

dinámica orbital, en electrónica, en manejo de materiales, entre otros. La incorporación de este personal pone de manifiesto el alejamiento de la empresa de algunos de los principios que orientaron su conducta en los primeros años de funcionamiento. Los socios fundadores advirtieron la necesidad de seguir (aunque ampliando sus límites) ciertos parámetros de la industria satelital.

5.3. Alcances y límites de la experiencia

La reconstrucción y análisis de la trayectoria de Satellogic dio cuenta de las dinámicas existentes detrás de la creación de las startups exitosas. Ello no solo se reduce a la empresa satelital, sino también a su antecedente, Core Security. Ambas empresas lograron comercializar sus productos y posicionarse en el mercado nacional e internacional.

Satellogic fue la primera empresa satelital en Argentina en trabajar de forma integrada lo que le permitió alcanzar hitos, tales como la fabricación de satélites en series cortas; la operación simultánea de varios satélites; la prestación de servicios a demanda; la venta de satélites llave en mano; entre otros. Estas particularidades posicionan a Satellogic como una de las empresas más exitosas en el sector satelital nacional. Más allá del carácter global que adoptó la empresa mediante la instalación de oficinas en distintas ciudades del mundo, los eslabones de mayor valor agregado (desarrollo de I+D) estuvieron localizados en Argentina y EE.UU. En Uruguay se estableció la planta de fabricación y ensamble debido a las exenciones que ofrecía el régimen impositivo del área franca. Sin embargo, también el análisis de la experiencia registra algunos límites. La compañía había planificado mantener 37 satélites operativos en el año 2022; 111, en 2023; y constituir una constelación de 300 satélites en 2025. Ello se alineaba a su pretensión de alcanzar un re-mapeo global diario.

La presente investigación da cuenta que tales objetivos no se cumplieron debido a una conjunción de factores. Por un lado, en marzo de 2020 la pandemia global surgida por el brote de COVID-19 generó demoras en la producción de los artefactos. Ello estuvo asociado al menos a dos fenómenos: las restricciones a la circulación que entablaron cada uno de los Estados y la consecuente interrupción del comercio internacional. Por otro lado, los primeros satélites que conformaban la constelación debieron ser removidos de la órbita debido a su acotada vida útil (Latam Space, 2024). Si bien Satellogic pudo

fabricar satélites en series cortas, la producción no alcanzó el ritmo deseado para cumplir con los objetivos propuestos.

De esta forma, la experiencia de Satellogic alcanzó metas impensadas para una empresa nacional fabricante de artefactos intensivos en conocimiento, a la vez que sus métodos de trabajo de alto riesgo le pusieron ciertos límites a su desarrollo a mediano plazo.

BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTOS

Bibliografía

Aguirre, M. (2013). *Introduction to Space Systems. Design and Synthesis*. Madrid: Springer.

Amoroso, C. y Meriño, J. (2022). *Hackear la Argentina. La esperanza del boom tecnológico*. Primera edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Editorial Catapulta.

Artopoulos, A. (2008). *Historia reciente de la innovación en Argentina: El caso de Core Security Technologies*. Universidad de San Andrés.

Azpiazu, D. y Schorr, M. (2010). *Hecho en Argentina. Industria y economía, 1976-2007*. Buenos Aires. Siglo XXI editores.

Barrera, M. y Bona, L. (2017). “La persistencia de la fuga de capitales y el crucial conflicto con los fondos buitres durante el ciclo kirchnerista” en E. Basualdo (ed.) *Endeudar y fugar. Un análisis de la historia económica argentina, de Martínez de Hoz a Macri*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Bell, J., McNaughton R. y Young S. (2001). “Born-again global firms: an extension to the born global phenomenon,” *Journal of International Management*, 7: 173-189

Bijker, W. (1995). *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Toward a Theory of Sociotechnical Change*, The MIT Cambridge.

Bijker, W. (1987). *La construcción social de la baquelita: hacia una teoría de la invención*. En H. Thomas & A. Buch (Eds.) (2013), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.

Blinder, D. (2009). *El control de tecnologías duales como poder político-militar. El caso “espacial” argentino*. Universidad Nacional de La Plata.

Blinder, D. (2015) *Hacia una política espacial en Argentina* en *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Vol. 10, Nº29 Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Blinder, D. y Hurtado de Mendoza, D. (2019). “Satélites, territorio y cultura: ARSAT y la geopolítica popular”. *Revista Transporte y Territorio*, (21), 6-27. Recuperado de <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/7147/6395>

Cáceres, Y. (2021). Producción de conocimientos y desarrollo de capacidades en Argentina para el dominio de la órbita geoestacionaria. Análisis del caso Nahuelsat S.A.- ARSAT S.A. (1991-2015). Tesis de Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Universidad Nacional de Quilmes.

Cáceres, Y. (2022). “Dinámicas socio-cognoscitivas en un sector conocimiento-intensivo. Nahuelsat S.A. (1993-2007)”. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. Universidad Nacional de Entre Ríos. 33(65): 1-32.

Cáceres, Y. (2024). Desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas en la semiperiferia. Análisis del sistema satelital geoestacionario argentino de telecomunicaciones (2006-2019). Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Buenos Aires.

Cantrell, J. (2015, 19 de octubre). Op-ed | Old Space Meets New Space. Space News. Recuperado el 27 de mayo de 2022 de: <https://spacenews.com/op-ed-old-space-meets-new-space/>

Callon, M. (1992). The dynamics of techno-economic networks, en Coombs, R. Saviotti, P. y Walsh, V: Technological changes and company strategies: economical and sociological perspectives, Harcourt Brace Jovanovich Publishers, Londres.

Caruso, D. (30 de Septiembre de 2011). Misión SAC-D/Aquarius. Desarrollo, lanzamiento y chequeo en órbita.

Cohen, W. y Levinthal, D. (1989) Innovation and learning: The two faces of I+D, The economic Journal. Vol. 99, N° 397.

Collins, H. (2010). Tacit and Explicit Knowledge. Chicago: University of Chicago Press.

De Dicco, R. (2007). “Satélites Argentinos serie SAC”. *Ciencia y Energía*, 1-28.

De Dicco, R. Fernández Michelli, J. I., Carlotto, J. A., Juárez, J. M., Sager, G. E., & Lorente, H. E. (2011). Receptor DCS para el satélite SAC-D/AQUARIUS: Desde el concepto a los ensayos integrados. Web.

De la Ossa, J. (2022). Habilidades blandas y ciencia. Revista Colombiana de Ciencia Animal- RECIA, 14(1), e945. <https://doi.org/10.24188/recia.v14.n1.2022.945>

De León, P. (2017). *El Proyecto del Misil Cóndor. Su origen, desarrollo y cancelación*. Carapachay: Lenguaje Claro.

Drewes, L. (2014) El sector espacial argentina: Instituciones referentes, proveedores y desafíos, ARSAT, Empresa Argentina de Soluciones Satelitales.

Domínguez, N. A. (1990). *Satélites. V etapa tecnológica naval y su incidencia en la guerra de Malvinas* (Vol. I). Buenos Aires, Argentina, Instituto de Publicaciones Navales del Centro Naval.

Domínguez, N. A. (1991). *Satélites. Más allá de la tecnología y de la guerra* (Vol. II). Buenos Aires, Argentina, Instituto de Publicaciones Navales del Centro Naval.

Favier, J. (1990). Revista de la Universidad de Mendoza. Número 8-9 1989-1990. República Argentina.

Fressoli, M. y Thomas, H. (2008). Antes y después de Dolly. Trayectoria de la clonación de mamíferos en Argentina y Brasil (1985-2004). ESOCITE. Recuperado el 5 de diciembre:

<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.necso.ufrj.br%2Fesocite2008%2Ftrabalhos%2F35949.doc&wdOrigin=BROWSELINK>

Gero, J. (1990). Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. Palo Alto: AI Magazine.

Gibson, R. (2014). Sistemas satelitales argentinos: democratizando el espacio. Observatorio de la Energía, Tecnología e Infraestructura para el Desarrollo. OETEC. Recuperado el 14 de marzo: <https://www.oetec.org/nota.php?id=%20625&area=%2011>

Godfrin, E., Fernández Slezak, D., y Durán, J. (2005). Misión satelital SAC-D/Aquarius: diseño preliminar del panel solar y simulaciones del comportamiento del subsistema de potencia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9.

González, E. (2019). Diseño de una Arquitectura Satelital Segmentada basada en Sistemas Multiagente para la Gestión de Emergencias. Tesis de Maestría en desarrollos informáticos de aplicación espacial. Universidad Nacional de La Matanza.

Gonzalo, M. (2015). Creación, desarrollo y extranjerización “temprana” de capacidades empresariales locales en la Argentina de inicios del siglo XXI: El caso Core Security. *H-industri@*, Año 9, Numero 17, Segundo semestre de 2015. ISSN 1851-703X.

Huertas, C. y García, M. (1989). Proyecto LUSAT-1. Simposio de Tecnología Aeroespacial, 20 al 22 de septiembre de 1989. Ascochinga. Córdoba. Argentina.

Hurtado de Mendoza, D. (2010). La ciencia argentina. Un proyecto inconcluso 1930-2000. Buenos Aires, Edhasa.

Kulu, E. (2021). Satellite Constellations - 2021 Industry Survey and Trends. 35th Annual Small Satellite Conference. August 6–11, 2021. Online conference.

Lall, S. (1992). “Technological Capabilities and Industrialization”. *World Development*, 20(2):165-186.

Lalouf, A. (2005) Construcción y deconstrucción de un “caza nacional”. Análisis socio-técnico de la experiencia de diseño y producción de los aviones Pulqui I y II (Argentina 1946-1960), Tesis de Maestría, Instituto de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.

Lattenero, M.A. (2021). Análisis de mercado para la inserción internacional de Constelaciones Dedicadas de Satélites (DSC): El caso de Satellogic. Universidad Nacional de Quilmes.

Ley, W., Wittmann, K., y Hallmann, W. (Eds.). (2009). *Handbook of Space Technology*. John Wiley & Sons.

López, A., Pascuini, P. y Ramos, A. (2017). “Al infinito y más allá. Una exploración sobre la Economía Espacial en Argentina, Instituto Interdisciplinario de Economía Política”. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas.

López, A.; Pascuini, P. y Álvarez, V. (2021). *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.

Lugones, M. (2020). Política nuclear y política energética en la Argentina. El Programa Nucleoeléctrico de la CNEA (1965-1985). Tesis de Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Bernal, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.

Mackenzie, D. (1996). *Knowing Machines: Essays on Technical Change*. Cambridge: The MIT Press.

Manzanelli, P.; González, M. y Basualdo, E. (2017). “La primera etapa del gobierno de Cambiemos. El endeudamiento externo, la fuga de capitales y la crisis económica y social” en Basualdo, E. (2017). *Endeudar y fugar. Un análisis de la historia económica argentina, de Martínez de Hoz a Macri*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Siglo XXI Editores.

Ozono, M. (2022). Emprendedores del espacio en Argentina. Organizaciones, redes y proyectos. Dirección Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación - Subsecretaría de Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación.

Petroski, H. (1985). *To engineer is human: the role of failure in successful design*. New York: St Martin's Press.

Picabea, F. (2010). “Análisis de la trayectoria tecno-productiva de la industria estatal argentina. El caso IAME (1952-1955)”. Vessuri, H. (Ed.) *Conocer para transformar. Producción y reflexión sobre ciencia, tecnología e innovación en Iberoamérica*, Caracas, Unesco, Iesalc.

Picabea y Thomas. (2015). *Autonomía tecnológica y Desarrollo Nacional. Historia del diseño y producción del Rastrojero y la moto Puma*. Buenos Aires. Ed. Cara o Ceca.

Picabea, F. y Cáceres, Y. (2023). “Generación de capacidades en empresas tecnológicas del sector espacial argentino” en Ciencia, Tecnología y Política, Universidad Nacional de La Plata.

Pose, A. (2017). "Adquisición, procesamiento y análisis de imágenes hiperspectrales : de la microscopía de fluorescencia a la industria satelital". [Tesis de Grado]. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Quiroga, J. (2018). Primeros desarrollos de tecnología radar en los principales beligerantes de la II Guerra Mundial. Un análisis desde la perspectiva CTS. Ciencia, Docencia y Tecnología, 29(57), 36-59. <https://doi.org/10.33255/2957/424>

Ramos, A. (2017). “Al infinito y más allá – Una exploración sobre la economía espacial en argentina”. C.A.B.A. IIEP- (UBA-CONICET).

Rycroft, M. y Crosby, N. (2013). Smaller Satellites: Bigger Business?: Concepts, Applications and Markets for Micro/Nanosatellites in a New Information World. Space Studies. Ed. Springer Netherlands. 29 de junio de 2013.

Salomón Tarquini, C. y otros. (2019). El hilo de Ariadna. Propuestas metodológicas para la investigación histórica. Editorial Prometeo.

Seijo, G. y Cantero, H. (2012). “¿Cómo hacer un satélite espacial a partir de un reactor nuclear? Elogio de las tecnologías de investigación en INVAP”. *REDES*, 18(35):13-44.

Shinn, T. (2000) Scientific disciplines and organizational specificity: the social and cognitive configuration of laboratory activities, *Information Sur Les Sciences Sociales*, 22.

Sierra, C. (1989). Planificación de la definición técnica de una espacionave. *Revista de la Escuela Superior de Guerra Aérea*.

Terrera Alberto (2017). Tesis de Maestría en Gestión de Servicios Tecnológicos y de Telecomunicaciones: “Argentina y sus oportunidades en la industria espacial a partir de la construcción y lanzamiento de una flota de satélites geoestacionarios de

telecomunicaciones”. Escuela de Administración y Negocios. Universidad de San Andrés.

Thomas, H. (2006). Trayectorias socio-técnicas y Estilos de cambio tecnológico en países subdesarrollados: la Resignificación de Tecnologías (Argentina, 1930-2006). XX JHEA, Mar del Plata.

Valles, M. (1999). “Técnicas de conversación, narración (I): las entrevistas en profundidad”. *Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional*. Madrid. Editorial Síntesis.

Vera, N. (2022). Ciencia, tecnología y política exterior en la semiperiferia. Intersecciones de relevancia frente a la transición hegemónica del siglo XXI. En N. Vera (Comp.), Ciencia, tecnología y política exterior. Reflexiones desde y para la (semi)periferia (pp.11-45). Centro de Estudios Interdisciplinarios en Problemáticas Internacionales y Locales; Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Versino, M. (2006). Análise sócio-técnica de processos de produção de tecnologias intensivas em conhecimento em países subdesenvolvidos. a trajetória de uma empresa nuclear e espacial argentina (1970-2005). Tesis para acceder al título de Doctora en Política Científica en Campinas- Sao Paulo, Brasil.

Versino, M. y Russo, C. (2010). Estado, tecnología y territorio: el desarrollo de bienes complejos en países periféricos. *Revista de Estudios Regionales y mercado de trabajo*. 6:283-302.

Vincenti, W. (1990). What engineers know and how they know it. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Yin, R. (1994): Case Study Research: Design and Methods. Sage Publications, Thousand Oaks, CA.

Audiovisuales

Ekoparty Security Conference. (7 de septiembre de 2016). Tita update rápido, dime si estas online. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=B88AYaQNID4>

Ekoparty Security Conference. (14 de noviembre de 2022). Haciendo acrobacias con satélites espaciales. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=66wCoOktOek>

Kargieman E. (21 de octubre de 2022). Emiliano Kargieman - Satélites, cohetes espaciales, seguridad informática e inversiones de riesgo. <https://podcasts.apple.com/ar/podcast/9-emiliano-kargieman-sat%C3%A9lites-cohetes-espaciales-seguridad/id1638968187?i=1000583455687>

Startups Way. (26 de noviembre de 2015). Emiliano Kargieman en Startups Way. https://www.youtube.com/watch?v=_BwA-_jyd_g

TEDxRíodelaPlata. (27 de diciembre de 2011). Hackeando el espacio. <https://www.youtube.com/watch?v=jWevzQyBrt4>

TEDxRíodelaPlata. (22 de noviembre de 2013). Informe sobre la conquista del espacio. https://www.youtube.com/watch?v=mZL3LUTa3_k

Vilaseca D., Sternheim M. (15 de septiembre de 2023). Space system webinar part II. https://www.youtube.com/watch?v=9S_Jwv77SUg&t=4s

Documentos

AMSAT-ARGENTINA (1989). Propuesta para el diseño y construcción de un satélite argentino para radioaficionados LUSAT-1. Buenos Aires.

ARSAT (2015). Plan Satelital Geoestacionario 2015-2035. Una visión, Una realidad, Un legado.

CONAE (2015). Plan espacial nacional Argentina en el espacio 2004-2015.

Cassidy, J. (2001). Core SDI case. Harvard Business School.

Decreto PEN N° 1.164/60. INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Decreto PEN N° 995/91. INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Decreto PEN N° 2.076/94. INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Decreto PEN N° 330/99. INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

ESA (1997). ECSS-M-10A. Space Project Management. Project Breakdown Structures. Noordwijk, The Netherlands

Ley N° 15.921/87. República Oriental del Uruguay.

Mayoraz, G. (2015). LUSAT-1, el primer satélite argentino cumple 25 años. Recuperado el 01 de diciembre <https://tecnovortex.com/lusat-1-cumple-25-anos/>

Entrevistas Personales

Fundador de Core. (17 de marzo de 2023). Entrevista personal a un fundador de Core.

Trabajador N° 1 de CNEA. (21 de marzo de 2023). Entrevista personal a trabajador de CNEA.

Trabajador N° 1 de INVAP S.E. (22 de octubre de 2019). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 2 de INVAP S.E. (26 de abril de 2019). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 3 de INVAP S.E. (23 de octubre de 2019). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 4 de INVAP S.E. (23 de octubre de 2019). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 5 de INVAP S.E. (24 de octubre de 2019). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 6 de INVAP S.E. (10 de marzo de 2023). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 6 de INVAP S.E. (1 de agosto de 2023). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 6 de INVAP S.E. (4 de agosto de 2023). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 6 de INVAP S.E. (15 de mayo de 2024). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 7 de INVAP S.E. (23 de octubre de 2019). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 8 de INVAP S.E. (22 de agosto de 2023). Entrevista personal a un trabajador de INVAP.

Trabajador N° 1 de Satellogic. (17 de enero de 2023). Entrevista personal a un trabajador de Satellogic.

Trabajador N° 1 de Satellogic. (14 de febrero de 2024). Entrevista personal a un trabajador de Satellogic.

Trabajador N° 2 de Satellogic. (25 de marzo de 2023). Entrevista personal a trabajador de Satellogic.

Trabajador N° 3 de Satellogic. (16 de octubre de 2024). Entrevista personal a trabajador de Satellogic.

Páginas Web

Ámbito. (23 de diciembre de 2021). Marcos Galperín se sumó al directorio de Satellogic, una de las startups argentinas más prometedoras. <https://www.ambito.com/negocios/empresas/marcos-galperin-se-sumo-al-directorio-satellogic-una-las-startups-argentinas-mas-prometedoras-n5341094>

Agendar. (28 de julio de 2020). 10 años de Satellogic: la empresa argentina que produce microsátélites para el mundo. *Agendarweb*.

<https://agendarweb.com.ar/2020/07/28/cumple-10-ano-satellogic-una-pequena-multinacional-argentina-que-se-especializa-en-el-mercado-satelital-el-cielo/>

Apolo 11 (2023). Recuperado el 28 de abril de 2023 de: <https://lab.elmundo.es/hombre-en-la-luna/apolo-11.html>

Argentina en el espacio. (s/f). <https://argentinaenelespacio.blogspot.com>

Bloomberg (2022). Recuperado el 7 de junio de 2024 de:

<https://www.bloomberglinea.com/2022/01/26/satellogic-suben-su-primer-dia-tras-fusion-por-spac/>

Bressan, M. citado en investinspain.com. (25 de mayo de 2018). Satellogic abre en Barcelona su sede europea. <https://www.investinspain.org/content/icex-invest/es/noticias-main/2018/NEW2018789630.html>

Bressan, M. citado en Infobae. (10 de febrero de 2019). El desafío argentino de cubrir la Tierra con 90 microsátélites en órbita. <https://www.infobae.com/tendencias/innovacion/2019/02/10/el-desafio-argentino-de-cubrir-la-tierra-con-90-microsatelites-en-orbita/>

Ciencia Hoy (1997). Revista Ciencia Hoy. Volumen 8. Número 43. Recuperado el 2 de junio de 2023 de:

<https://www.cienciahoy.org.ar/ch/hoy43/micros1.htm>

Clarín (2019). Recuperado el 16 de mayo de 2023 de:

https://www.clarin.com/sociedad/historia-mono-juan-primer-astronauta-argentino-llegar-espacio_0_QuYhwvAG.html

CONICET (2018). Recuperado el 14 de marzo de 2024 de:

<https://www.conicet.gov.ar/labosat-tecnologia-argentina-en-el-espacio/>

El País. (17 de julio de 2015). Empresa argentina fabricará nanosatélites en Zonamerica. *Diario El País (Uruguay)*. <https://www.elpais.com.uy/negocios/empresas/empresa-argentina-fabricara-nanosatelites-en-zonamerica>

Ealuro (2015). Recuperado el 6 de junio de 2023 de:

<https://ealuro.com/lusat.html>

Fundación Aquae (2021). Recuperado el 4 de marzo de 2023 de:

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/singularity-university-la-universidad-del-progreso-la-innovacion/>

García, W. citado en Los Andes. (16 de junio de 2017). “Milanesat”, el nanosatélite que hará fotos como Google Maps. <https://www.losandes.com.ar/el-nanosatelite-argentino-que-hara-fotos-a-lo-google-maps/>

Ingrassia, V. (10 de febrero de 2019). El desafío argentino de cubrir la Tierra con 90 microsátélites en órbita. *Infobae*. <https://www.infobae.com/tendencias/innovacion/2019/02/10/el-desafio-argentino-de-cubrir-la-tierra-con-90-microsatelites-en-orbita/>

Infobae versión digital (2017). Recuperado el 28 de marzo de 2023 de: <https://www.infobae.com/2008/09/09/402499-emprendimiento-argentino-los-mas-importantes-del-mundo/>

Infobae (2020). Recuperado el 27 de abril de 2023 de:

<https://www.infobae.com/sociedad/2020/03/15/el-mono-juan-y-el-raton-belisario-los-primeros-astronautas-que-la-argentina-envio-al-espacio/>

Isobox System sl. (s.f.). Vestimenta e higiene del personal de salas blancas de las clases ISO 8 e ISO 7. <https://www.isoboxsystems.com/vestimenta-e-higiene-del-personal-de-salas-blancas-de-las-clases-iso-8-e-iso-7/>

Kargieman, E. citado en machtres.com. (2014). Recuperado el 14 de marzo de 2024 de: <https://www.machtres.com/bugsat1.html>

Kargieman, E. citado en bloomberglínea.com. (25 de enero de 2023). CEO de Satellogic: Argentina necesita “15 años de estabilidad” para destapar inversiones. <https://www.bloomberglínea.com/2023/01/25/ceo-de-satellogic-argentina-necesita-15-anos-de-estabilidad-para-destapar-inversiones-tech/>

Kargieman, E. citado en La Nación. (30 de mayo de 2016). Fresco y Batata, los dos primeros nanosatélites comerciales argentinos. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/fresco-y-batata-los-dos-primeros-nanosatelites-comerciales-argentinos-nid1903815/>

Kargieman, E. citado en Sarmenti, I. (5 de febrero de 2021). La empresa argentina que se asoció a SpaceX de Elon Musk para lanzar sus satélites. <https://cnnespanol.cnn.com/2021/02/05/la-empresa-argentina-que-se-asocio-a-spacex-de-elon-musk-para-lanzar-sus-satelites/>

Kargieman, E. citado en Ámbito. (23 de diciembre de 2021). Marcos Galperín se sumó al directorio de Satellogic, una de las startups argentinas más prometedoras. <https://www.ambito.com/negocios/empresas/marcos-galperin-se-sumo-al-directorio-satellogic-una-las-startups-argentinas-mas-prometedoras-n5341094>

Latam Space (2023). Recuperado el 5 de julio de 2023 de:

<https://latam.space/entrevista-con-tulio-calderon-exgerente-del-area-espacial-de-INVAP-S.E./>

Latam Space (2024). Recuperado el 9 de julio de 2024 de:

<https://latam.space/siguen-los-despidos-en-satellogic/>

Marín, D. (2011). Lanzamiento Delta II 7320 (Aquarius/SAC-D). EUREKA. El blog de Daniel Marín. Recuperado el 10 de junio de 2021 de <https://danielmarin.naukas.com/2011/06/11/lanzamiento-delta-ii-7320-aquariussac-d/>

Market for Earth observation data and services forecast to grow by 9% annually over next decade (2019). Euroconsult. Recuperado el 20 de abril de 2022 de:

<https://www.euroconsult-ec.com/press-release/market-for-earth-observation-data-and-services-forecast-to-grow-by-9-annually-over-next-decade/>

New York Stock Exchange. (s/f) <https://www.nyse.com/index>

Prutchi, D. (12 de diciembre de 2019). Visit to Satellogic's Satellite Assembly Facility in Uruguay. *Prutchi.com*. <https://www.prutchi.com/2019/12/12/visit-to-satellogics-satellite-assembly-facility-in-uruguay/>

Richarte G., citado en Página12. (21 de noviembre de 2013). El día en que manolito entró en órbita. <https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-234044-2013-11-21.html>

Parczewski, Juan (2005). Recuperado el 26 de abril de 2023 de:

<https://www.jpcoheteria.com.ar/Alfacentauro.pdf>

Pressreader (2013). Recuperado el 11 de marzo de 2023 de: <https://www.pressreader.com/argentina/pymes/20130304/282849368407624>

Redusers (2009). Recuperado el 18 de marzo de 2023 de: <https://www.redusers.com/noticias/una-web-argentina-elegida-entre-las-mejores-del-mundo/>

Richarte, G. (13 de julio de 2022). Satellogic Turns 12: Missions, Milestones, and Memories. By the Satellogic Team. <https://satellogic.com/2022/07/13/satellogic-turns-12-missions-milestones-and-memories/>

Rivada Networks (2021). Fusión con Satellogic. <https://rivadaspace.com/news>

Satellogic.com. (6 de Julio de 2021). Satellogic, líder en imágenes terrestres satelitales, saldrá a bolsa mediante fusión con CF Acquisition Corp. V de Cantor Fitzgerald. <https://satellogic.com/news/newsletter/newsletter-q2-2021/>

Satellogic (10 de agosto de 2021). Celebrando a las mujeres en STEM. Satellogic.com <https://satellogic.com/2021/08/10/celebrating-women-in-stem/>

Space Frontier Foundation. (s.f.) <https://www.spacefrontierfoundation.org/>

Vilaseca, D. (13 de julio de 2022). Satellogic Turns 12: Missions, Milestones, and Memories. By the Satellogic Team. <https://satellogic.com/2022/07/13/satellogic-turns-12-missions-milestones-and-memories/>