

**Innovación y desarrollo en escenarios restrictivos.
Generación y adecuación de capacidades tecnológicas
en el sector espacial argentino *****Inovação e desenvolvimento em cenários restritivos.
Geração e adequação de capacidades tecnológicas
no setor espacial argentino*****Innovation and Development in Restrictive Scenarios.
Generation and Adaptation of Technological Capabilities
in the Argentine Space Sector*****Yamila Noely Cáceres  y Facundo Picabea  ****

Entre 2007 y 2015, el Estado argentino impulsó el diseño, la fabricación y la integración local de dos satélites geoestacionarios de telecomunicaciones (ARSAT-1 y ARSAT-2), a partir de la articulación entre empresas públicas y capacidades tecnológicas previamente desarrolladas en otros sectores estratégicos. Esta experiencia se desarrolló en un contexto caracterizado por altas barreras tecnológicas y restricciones geopolíticas al acceso a este tipo de tecnologías. Este artículo analiza cómo decisiones concretas de política pública articularon y definieron trayectorias sociotécnicas orientadas a la generación de capacidades tecnológicas en el sector satelital de telecomunicaciones en Argentina. Mediante un estudio de caso basado en análisis documental y entrevistas en profundidad, se examinan los procesos de acumulación, reconfiguración y bloqueo de capacidades, así como las estrategias institucionales que condicionaron su sostenibilidad. El artículo contribuye a los estudios sociales de la ciencia y la tecnología en América Latina al ofrecer un análisis situado que cuestiona los modelos lineales de desarrollo y destaca el carácter político, conflictivo y geopolíticamente condicionado de la construcción de autonomía tecnológica.

Palabras clave: políticas públicas; capacidades tecnológicas; trayectorias sociotécnicas; autonomía tecnológica; sector satelital

Entre 2007 e 2015, o Estado argentino impulsionou o design, fabricação e integração local de dois satélites geoestacionários de telecomunicações (ARSAT-1 e ARSAT-2), a partir da articulação entre empresas públicas e capacidades tecnológicas previamente desenvolvidas em outros setores estratégicos. Essa experiência se desenvolveu em um contexto caracterizado por altas barreiras tecnológicas e restrições geopolíticas ao acesso a esse tipo de tecnologias. O artigo analisa como decisões concretas de política pública articularam e definiram trajetórias

* Recepción del artículo: 02/03/2026. Entrega del dictamen: 08/04/2026. Recepción del artículo final: 11/05/2026.

** Yamila Noely Cáceres: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Universidad Nacional de Luján, Argentina. Correo electrónico: ycaceres@conicet.gov.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7771-6160>. Facundo Picabea: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Universidad Nacional de Luján, Argentina. Correo electrónico: fpicabea@conicet.gov.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6444-7886>. El presente trabajo tiene como antecedente la tesis doctoral "Desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas en la semiperiferia. Análisis del Sistema Satelital Geoestacionario Argentino de Telecomunicaciones (2006-2019)", de Yamila Noely Cáceres, presentada en la Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina.

sociotécnicas orientadas à geração de capacidades tecnológicas no setor de satélites de telecomunicações na Argentina. Por meio de um estudo de caso baseado na análise documental e entrevistas em profundidade, examinam-se os processos de acumulação, reconfiguração e bloqueio de capacidades, bem como as estratégias institucionais que condicionaram sua sustentabilidade. O artigo contribui para os estudos sociais da ciência e da tecnologia na América Latina ao oferecer uma análise situada que questiona os modelos lineares de desenvolvimento e destaca o caráter político, conflituoso e geopolítico condicionado da construção da autonomia tecnológica.

Palavras-chave: políticas públicas; capacidades tecnológicas; trajetórias sociotécnicas; autonomia tecnológica; setor de satélites

Between 2007 and 2015, the Argentine government promoted the design, manufacture, and local integration of two geostationary telecommunications satellites (ARSAT-1 and ARSAT-2), through the coordination between public companies and technological capabilities previously developed in other strategic sectors. This experience took place in a context characterized by high technological barriers and geopolitical restrictions on access to this type of technology. This article analyzes how specific public policy decisions coordinated and defined socio-technical trajectories aimed at generating technological capabilities in Argentina's telecommunications satellite sector. Through a case study based on documentary analysis and in-depth interviews, the processes of accumulation, reconfiguration, and blocking of capabilities are examined, as well as the institutional strategies that influenced their sustainability. This article contributes to the social studies of science and technology in Latin America by offering a situated analysis that questions linear models of development and highlights the political, conflictive, and geopolitically conditioned nature of building technological autonomy.

Keywords: public policies; technological capabilities; sociotechnical trajectories; technological autonomy; satellite sector

Introducción

Las trayectorias de desarrollo tecnológico en economías periféricas estuvieron históricamente condicionadas por estructuras productivas dependientes, asimetrías en la generación y apropiación del conocimiento y una inserción subordinada en los mercados internacionales de tecnología. En este contexto, las políticas públicas orientadas a sectores intensivos en conocimiento adquieren un carácter estratégico, no solo por su potencial para promover procesos de innovación, sino también por su capacidad de articular —u obstaculizar— trayectorias sociotécnicas en escenarios atravesados por restricciones económicas, institucionales y geopolíticas. A diferencia de los enfoques que conciben el cambio tecnológico como un proceso espontáneo guiado por el mercado o como una secuencia lineal de acumulación de capacidades, desde los enfoques latinoamericanos en Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), el desarrollo tecnológico fue analizado como un proceso situado, atravesado por disputas políticas y relaciones de poder que exceden ampliamente el ámbito técnico (Thomas, et al. 2008).

La industria aeroespacial representa un ámbito particularmente revelador de estas dinámicas. Se trata de un sector altamente concentrado a nivel global, caracterizado por fuertes barreras de entrada, elevados requerimientos de inversión, usos duales de la tecnología y un denso entramado de regulaciones y controles internacionales (Blinder, 2018). En América Latina, estas características limitaron el acceso autónomo a tecnologías aeroespaciales avanzadas, reforzando dependencias tecnológicas y restringiendo los márgenes de acción de los Estados nacionales.

Sin embargo, la experiencia argentina en el sector de telecomunicaciones espaciales entre 2007 y 2015 constituye un caso empíricamente significativo para analizar cómo, bajo determinadas configuraciones políticas e institucionales, fue posible articular capacidades previamente desarrolladas en distintos sectores estratégicos y reorientarlas hacia el diseño, la fabricación y la operación de sistemas geoestacionarios. Este período abarca desde la creación de ARSAT S.A. (2006) hasta el lanzamiento del satélite ARSAT-2 (2015), cubriendo así el ciclo completo de diseño, fabricación y puesta en órbita. La creación de ARSAT S.A. como operador nacional y su articulación con INVAP —empresa dedicada al diseño y la producción de bienes tecnológicos complejos (Versino y Russo, 2010)— implicó la convergencia de capacidades acumuladas en ámbitos como la tecnología nuclear, la observación de la Tierra y la operación comercial de servicios de comunicaciones, que hasta entonces habían seguido trayectorias relativamente independientes.

Este proceso de desarrollo se desplegó en un escenario restrictivo, marcado por limitaciones macroeconómicas, disputas geopolíticas y regímenes internacionales de control tecnológico. Dicho escenario impuso una lógica de decisiones selectivas y estratégicas sobre qué capacidades desarrollar localmente, cuáles adquirir en el exterior y bajo qué modalidades institucionales. En consecuencia, el proyecto ARSAT no solo generó nuevas capacidades, sino que también reveló dinámicas más complejas de reconfiguración, bloqueo y hasta desacumulación, íntimamente ligadas a los cambios en las políticas públicas y los arreglos institucionales que primero hicieron posible el proyecto y que luego condicionaron su sostenibilidad.

En función de ello, la pregunta que guía el artículo es: ¿cómo se diseñaron las políticas públicas para el impulso de tecnologías conocimiento intensivas que lograron superar limitaciones estructurales a nivel local y global? Con el objetivo de responder a esta pregunta, el trabajo analiza, a partir de un estudio de caso, las políticas públicas y las

estrategias institucionales que configuraron la trayectoria del sector satelital de telecomunicaciones en Argentina entre 2007 y 2015, atendiendo tanto a la articulación de capacidades preexistentes como a los aprendizajes, tensiones y límites emergentes durante el desarrollo de los satélites ARSAT-1 y ARSAT-2.

Así, este artículo propone comprender la experiencia ARSAT como una trayectoria sociotécnica situada y no como un hito tecnológico aislado, ni como una etapa en una secuencia evolutiva predefinida. En esta trayectoria, la autonomía tecnológica se revela como un proceso relativo, conflictivo y políticamente mediado. De esta forma, el análisis busca contribuir a los estudios sociales de la tecnología en América Latina, en la tradición crítica que examina la autonomía tecnológica como un proceso político y geopolíticamente condicionado (Herrera, 1971; Arocena y Sutz, 2003), ofreciendo una mirada situada sobre la construcción de capacidades en sectores estratégicos y la naturaleza contingente y política de las trayectorias de desarrollo.

El artículo se estructura a continuación de la siguiente manera: primero se presenta el marco teórico-metodológico. Luego se reconstruye la institucionalización del sector espacial argentino, mostrando las trayectorias divergentes que convergerían en ARSAT. En tercer lugar, se analiza el proceso concreto de diseño y fabricación de los satélites ARSAT-1 y ARSAT-2, detallando las decisiones técnicas, políticas y geopolíticas involucradas. En cuarto lugar, se problematiza el modelo teórico de la Escalera Tecnológica Espacial (*Space Technological Ladder*, STL) a la luz de la evidencia empírica. Finalmente, se presentan las conclusiones, extrayendo implicaciones para el diseño de políticas de innovación en escenarios periféricos y restrictivos.

1. Políticas públicas, trayectorias sociotécnicas y capacidades tecnológicas en la periferia

Este artículo adopta una perspectiva multidimensional, integrando aportes del análisis de políticas públicas, la economía del cambio tecnológico y los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (CTS). Desde el análisis de políticas públicas, se concibe al Estado como un actor que estructura arreglos institucionales históricamente situados, dentro de los cuales se definen prioridades, se asignan recursos y se negocian orientaciones de desarrollo tecnológico (García Linera, 2010). En este sentido, las políticas públicas incluyen no solo acciones explícitas, sino también omisiones y decisiones indirectas que inciden sobre las trayectorias tecnológicas (Oszlack y O'Donnell, 1995). Siguiendo a Herrera (1971), se distingue entre políticas públicas explícitas e implícitas. Esta distinción resulta particularmente relevante para sectores intensivos en conocimiento, donde decisiones regulatorias, presupuestarias o de coordinación interinstitucional pueden habilitar —o limitar— los procesos de construcción de capacidades aun en ausencia de políticas sectoriales formalmente declaradas. Esta perspectiva permite analizar el rol de las políticas públicas más allá de programas específicos, atendiendo a su capacidad de configurar selectivamente trayectorias tecnológicas.

Desde la economía del cambio tecnológico, diversos enfoques conceptualizaron la innovación como un proceso basado en aprendizajes complejos y acumulativos (Arrow, 1962; Rosenberg, 1982; Lundvall, 1985), así como en la generación progresiva de capacidades productivas y tecnológicas (Katz, 1978; Lall, 1989). Estos aportes resultan valiosos para comprender los mecanismos de aprendizaje y acumulación, pero tienden a prestar menor atención a las dinámicas de interrupción y pérdida de capacidades que caracterizan las trayectorias tecnológicas en economías periféricas, especialmente en sectores estratégicos sujetos a fuertes restricciones externas (Alvez Taylor, 2025). Para

abordar estas limitaciones, este artículo adopta una concepción de la innovación como un proceso relacional, conflictivo y temporalmente situado, en el que la acumulación de capacidades coexiste con episodios de bloqueo y desacumulación.

En esta línea, Arocena y Sutz (2003) introducen la noción de “divisiones de aprendizaje” para dar cuenta de cómo las desigualdades estructurales condicionan no solo la generación de conocimiento, sino también su apropiación, continuidad y resignificación a lo largo del tiempo. Este enfoque resulta particularmente pertinente para analizar trayectorias tecnológicas en las que procesos intensivos de aprendizaje conviven con discontinuidades institucionales, cambios en las orientaciones de política pública y restricciones geopolíticas que afectan la sostenibilidad de las capacidades desarrolladas.

Para profundizar estas dinámicas, el artículo se apoya en el enfoque sociotécnico, que concibe el desarrollo tecnológico como un proceso de determinación mutua entre dimensiones técnicas y sociales (Bijker, 1995). Desde esta perspectiva, las capacidades tecnológicas se construyen a través de interacciones entre actores humanos e institucionales, artefactos, saberes codificados y conocimientos tácitos, en contextos atravesados por relaciones de cooperación, conflicto y poder. (Thomas et al., 2008). En línea con el principio de simetría propuesto por Bloor (1976), este artículo analiza tanto los denominados “éxitos”¹ como los “fracasos” tecnológicos como resultados de configuraciones sociopolíticas específicas, evitando explicaciones retrospectivas basadas exclusivamente en criterios de eficiencia técnica o desempeño final. Ello permitirá comprender que la trayectoria espacial argentina no está constituida solo con proyectos materializados, sino también con proyectos que, por causas diversas, quedaron inconclusos o no funcionaron.

Finalmente, este andamiaje conceptual se contrasta críticamente con los marcos predominantes en el análisis de políticas espaciales. Entre ellos, destaca el modelo de la Escalera Tecnológica Espacial (STL) (Wood y Weigel, 2012), que propone una progresión lineal y secuencial de etapas de complejidad creciente. Sin embargo, estudios posteriores señalaron sus limitaciones para dar cuenta de experiencias periféricas caracterizadas por trayectorias discontinuas, no lineales y profundamente condicionadas por factores políticos y geopolíticos (Venturini y Verbano, 2014; López et al., 2018). Este artículo se posiciona explícitamente en esta línea crítica, al argumentar que la experiencia ARSAT no puede ser comprendida como un simple “escalón” en una secuencia predefinida, sino como una trayectoria sociotécnica situada, donde la articulación de políticas, capacidades preexistentes y restricciones externas dio forma a un camino singular y contingente hacia la autonomía tecnológica.

2. Diseño metodológico

Este artículo realizó un estudio de caso cualitativo (Stake, 2015; Yin, 2018), de carácter procesual y longitudinal, orientado a analizar cómo decisiones concretas de política pública inciden en la generación y bloqueo de capacidades tecnológicas. Este enfoque resulta particularmente adecuado para el análisis de fenómenos complejos, en los que el interés se centra en reconstruir procesos de toma de decisiones, arreglos

¹ Se considera tecnología exitosa a aquella que logró consolidar su funcionamiento sociotécnico, es decir, que más allá de sus propiedades intrínsecas se transformó en artefactos, procesos o conocimientos socialmente validados. Por el contrario, las tecnologías fracasadas son aquellas que, aun consiguiendo rendimientos satisfactorios en términos técnicos, por su inadecuación social, no lograron pasar de instancias proyectuales, prototípicas o de series cortas. Para Bijker (1995), el funcionamiento es una contingencia socialmente construida.

institucionales y dinámicas de aprendizaje, más que en establecer relaciones causales de tipo estadístico.

La unidad de análisis es la trayectoria sociotécnica del diseño, fabricación, puesta en órbita y operación de los satélites ARSAT, entendida como el resultado de la interacción entre políticas públicas, estrategias organizacionales y capacidades tecnológicas. El análisis se estructura en dos niveles articulados: 1- el nivel macro, de políticas públicas e instrumentos institucionales que configuraron el sector espacial y de telecomunicaciones; y 2- el nivel meso, de capacidades tecnológicas (de producto, proceso y gestión) desarrolladas por las instituciones que gobiernan la cadena de valor —ARSAT S.A. e INVAP— y su red de proveedores.

La estrategia de investigación combinó un análisis diacrónico, para reconstruir los procesos y decisiones a lo largo del período, con cortes sincrónicos que permitieron examinar en profundidad fases analíticas clave. Esta combinación facilitó identificar puntos de inflexión, así como las estrategias institucionales, vínculos internacionales y dinámicas de acumulación/desacumulación que caracterizaron cada fase.

La investigación combinó el análisis de fuentes primarias y secundarias. Entre las primeras se incluyó un *corpus* documental compuesto por legislación, decretos, resoluciones y planes nacionales vinculados al sector espacial y de telecomunicaciones, así como memorias institucionales, balances, estatutos, informes técnicos y comunicados oficiales de ARSAT S.A. e INVAP. Estos documentos permitieron reconstruir el marco institucional, las racionalidades de política pública y los cambios organizacionales asociados al proyecto.

Se realizaron entre 2018 y 2023 cuarenta y cuatro entrevistas semiestructuradas (y re-entrevistas) a actores clave involucrados en el proceso: funcionarios gubernamentales, directivos empresariales, jefes de proyecto, ingenieros y proveedores locales. Para los fines específicos de este artículo —y en atención a los límites de espacio y enfoque— se seleccionó y analizó un subconjunto estratégico de estos testimonios. Las entrevistas buscaron reconstruir procesos de toma de decisiones, dinámicas de aprendizaje, articulaciones interinstitucionales y percepciones sobre las restricciones tecnológicas, regulatorias y comerciales. Todas se realizaron bajo consentimiento informado. Dado el carácter estratégico y sensible de la industria, se firmaron acuerdos de confidencialidad con ARSAT S.A. e INVAP, lo que implica el anonimato de los entrevistados y restricciones en la citación de cierta información.

El material empírico fue procesado y analizado de manera integrada. Las entrevistas se transcribieron y, junto con los documentos, se organizaron en una base de datos utilizando una hoja de cálculo. Se realizó un análisis de contenido temático, guiado por un marco de codificación desarrollado a partir de las preguntas de investigación y los conceptos teóricos. Este proceso permitió identificar temas recurrentes, contradicciones y patrones en la narrativa de la trayectoria.

Se aplicó una vigilancia metodológica rigurosa para garantizar la robustez del análisis y manejar los sesgos inherentes a este tipo de estudios. Para las entrevistas se consideró la posición institucional de los entrevistados, su grado de involucramiento y el riesgo de racionalizaciones retrospectivas. Para mitigar estos sesgos, los testimonios fueron sistemáticamente contrastados entre sí y triangulados con fuentes documentales. Para los documentos institucionales se analizaron críticamente sus condiciones de producción y los intereses potenciales en juego, sin tomarlos como reflejo neutral de los hechos. La triangulación permanente entre fuentes testimoniales, documentales y bibliográficas fue la estrategia central para contrastar la evidencia, construir una

narrativa robusta y reducir la dependencia de relatos individuales, significaciones *ex post* o fuentes únicas.

3. La institucionalización del sector satelital en Argentina

A comienzos del siglo XXI, un número muy reducido de países participaba en el diseño y fabricación de satélites geoestacionarios de telecomunicaciones, y ninguno estaba ubicado en América Latina (Ministerio de Economía, 2024). Esta concentración geográfica no respondía únicamente a diferencias de capacidades técnicas, sino a trayectorias históricas diferenciadas en cuanto a la acumulación de poder político, económico y militar (Hall y Chase-Dunn, 2018), así como a la búsqueda de autonomía en el dominio de la tecnología. En el caso argentino, la autonomía tecnológica estructuró, de manera discontinua en los siglos XX y XXI, un conjunto de políticas tecnológicas orientadas a promover sectores como el nuclear, electrónico, el aeroespacial y las telecomunicaciones (Adler, 1987; De Alto, 2013; De León, 2018; Lugones y Vera, 2024).

Desde mediados del siglo XX, el Estado argentino impulsó iniciativas orientadas a la construcción de capacidades tecnológicas propias en áreas de uso dual. La creación de instituciones como la Fábrica Militar de Aviones, la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) respondió a una concepción de la autonomía tecnológica como condición para ampliar márgenes de decisión política y reducir dependencias externas (Sábato y Mackenzie, 1982). Estas políticas permitieron la acumulación de capacidades en diseño, fabricación y gestión de proyectos complejos, aun cuando su continuidad estuvo atravesada por fuertes vaivenes institucionales (Lalouf, 2005; Hurtado de Mendoza, 2014; De León, 2018; Picabea, 2022).

Estas trayectorias se desarrollaron en un contexto internacional crecientemente restrictivo. Tras la Segunda Guerra Mundial, el acceso a tecnologías nucleares y espaciales se convirtió en un eje central de las disputas de poder global, dando lugar a regímenes internacionales orientados a regular, y limitar, la difusión de tecnologías de doble uso. Tratados de no proliferación, acuerdos regionales y, en particular, regulaciones unilaterales como el Reglamento Internacional de Tráfico de Armas (ITAR) estadounidense configuraron un entorno geopolítico que condicionó las estrategias tecnológicas de los países periféricos (Zelnio, 2007).

Durante los años sesenta y setenta, Argentina desarrolló capacidades en tecnología nuclear y acceso al espacio. En el área nuclear, desde el diseño de reactores de investigación (RA1, RA3) y la operación de centrales (Atucha, Embalse), hasta una cadena completa del ciclo de combustible como las plantas de óxido de uranio, de conversión a calidad nuclear, la Planta Industrial de Agua Pesada, el Laboratorio de Procesos Radioquímicos y la planta de enriquecimiento de Pilcaniyeu, entre otras. En el ámbito espacial, la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), dependiente de la Fuerza Aérea, lideró proyectos que fueron desde los lanzadores Alfa Centauro y Tauro hasta el desarrollo de cohetes sonda, el diseño del satélite científico SAC-1, el Proyecto BIO —envío de un ratón y un mono fuera de la atmósfera—, y más tarde el Proyecto Cóndor y la Planta de Propulsores Sólidos en Falda del Carmen, Córdoba (De León, 2018).

El Cóndor I era un cohete de investigación sin sistema de guiado y con un alcance entre 700-750 km, pero durante la última dictadura cívico-militar (1976-1983), en el marco de la Guerra de Malvinas (1982), el cohete Cóndor II se resignificó como un misil

balístico de alcance intermedio (De León, 2017). La posibilidad de que la Argentina usara dicho cohete contra las islas motivó fuertes presiones de Gran Bretaña, Estados Unidos y otros países de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) para su cancelación. Pese a la restauración de la democracia en Argentina, el presidente Raúl Alfonsín (1983-1989) mantuvo continuidad en la política hacia los sectores tecnológicos estratégicos: declaró de interés nacional los programas Cóndor I y II y habilitó su exportación a través de Integradora Aeroespacial S.A. (INTESA) (Corigliano, 2003).

En 1989 asumió el gobierno del Estado Nacional una administración que rápidamente se alineó con la propuesta del Consenso de Washington y el gobierno norteamericano. En ese marco se decidió la disolución de la CNIE, la desactivación irreversible del Cóndor (Decreto 195/91) y la suspensión de cualquier tipo de exportación del área nuclear, lo que implicó la cancelación de contratos de trabajo de la firma INVAP. También se determinó la exportación de partes del misil a España para su destrucción (Decreto 1903/93), se ratificaron el Tratado de Tlatelolco y el Tratado de No Proliferación Nuclear (Rapoport, 2016).

La alineación de la política argentina con Estados Unidos produjo un proceso de desacumulación de capacidades tecno-productivas. El cierre de la planta de Falda del Carmen destruyó capacidades de diseño y producción acumuladas en la ingeniería de producto y de proceso de los cohetes y lanzadores (De León, 2017), y la desarticulación del equipo del Cóndor II interrumpió flujos de información y subutilizó personal altamente calificado. A su vez, la cancelación de los contratos de trabajo, en un escenario de caída del presupuesto de la CNEA, le costó a INVAP aproximadamente U\$S 25 millones y provocó el despido del 70 % del personal técnico (Hurtado de Mendoza, 2014; Thomas, Versino y Lalouf, 2008).

El mismo decreto que disolvió la CNIE creó la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), una entidad civil dependiente del Poder Ejecutivo. A cambio de desarticular el Proyecto Cóndor, Estados Unidos se ofrecía a transferir tecnología y colaborar en el desarrollo satelital por lo que en 1994 se aprobó el Programa Espacial Argentino para el período 1995-2006 (Decreto PEN 2.076/94). Bajo este esquema, CONAE firmó acuerdos de cooperación con la NASA que condujeron al desarrollo de cuatro satélites de órbita baja², cuyo diseño y fabricación fueron encargados a INVAP, generando así una nueva área de negocio en la empresa e instalaciones en el país.

Mientras se institucionalizaba el sector satelital, se acercaba la fecha límite para ocupar las posiciones orbitales geoestacionarias, fijada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para el 24 de junio de 1994. Como la capacidad local era insuficiente, y en línea con la política neoliberal de privatizaciones, el gobierno convocó a una licitación internacional para su ocupación (Decreto PEN 549/91). El contrato se adjudicó a un consorcio europeo-brasileño que, tras la salida de Alcatel y EMBRATEL, formó la empresa Nahuelsat³ con sede en Buenos Aires. Para cumplir con los plazos, Nahuelsat compró un satélite “llave en mano” —el Nahuel 1a— a sus empresas accionistas y contrató ingenieros argentinos recién graduados.

² En 1996, Argentina lanzó el satélite SAC-B para el estudio del Sol; en 1998, el SAC-A para validar tecnologías desarrolladas en el país; en 2000, el SAC-C para la observación de la Tierra y finalmente, en 2010, el SAC-D/Aquarius para el estudio del mar.

³ Los accionistas fundadores de Nahuelsat S.A. fueron Aerospatiale Société Nationale Industrielle y Alcatel Espace Société Anonyme de Francia; Alenia Spazio Società per Azioni de Italia; Deutsche Aerospace Aktiengesellschaft (DASA) de Alemania.

El sector satelital argentino quedó establecido a partir de un esquema dual en el que tenían lugar dos estilos sociotécnicos: cooperación aprendizaje-intensiva entre INVAP y NASA vs. relación comercial restrictiva entre Nahuelsat S.A. y las firmas europeas. Esto creó dos trayectorias paralelas de capacidades que luego convergerían en ARSAT S.A. (Ley 26.092/06).

Esta dinámica ambivalente caracterizada por la acumulación seguida de desacumulación, la desarticulación seguida de la reconfiguración de capacidades, resulta central para comprender el caso ARSAT, ya que visibiliza cómo el desarrollo espacial argentino se inscribe en un proceso histórico de reconfiguración selectiva de capacidades, más que en una trayectoria lineal. De acuerdo con ello, la autonomía tecnológica no se concibe como un estadio final ni como una progresión incremental, sino como un principio político que orienta —con distintos grados de intensidad y coherencia— la selección de sectores, la asignación de recursos y la organización institucional del desarrollo.

3.1. Acumulación de capacidades de diseño y producción de satélites en órbita baja (1991-2000)

Mientras Nahuelsat iniciaba las operaciones de los satélites de comunicaciones, la CONAE y el INVAP iniciaron la fabricación local de satélites de investigación en órbita baja. El diseño del satélite comienza con la identificación de las necesidades de la misión y continúa con la documentación para la producción. Los actores clave —financiadores, usuarios del servicio, fabricantes y operadores— definen los requisitos técnicos, los elementos críticos, las estrategias de desarrollo, los costos y los plazos de la misión.

CONAE no tenía objetivos específicos ni predefinidos para cada misión; por lo tanto, se establecieron criterios flexibles para el diseño de los satélites de órbita baja. Este enfoque flexible permitió a los ingenieros de INVAP contribuir activamente a la definición de los requisitos técnicos, que posteriormente se estabilizaron a lo largo del proceso. Los cambios constantes de los proyectos resultaron en modificaciones del diseño de la plataforma satelital, el cronograma de trabajo y el presupuesto inicial (Entrevista 17, ingeniero de Sistemas, 2019).

A medida que se definían los requisitos más generales, INVAP procedió a la ingeniería de detalle y elaboró planos con especificaciones para cada uno de los subsistemas del satélite. Este procedimiento fue esencial para la fabricación de los diferentes modelos físicos del dispositivo: el modelo estructural⁴, el modelo de ingeniería⁵, el modelo de vuelo o el satélite. Para ello, el área de satélites de INVAP redefinió el conocimiento del área nuclear y parte de la infraestructura de la empresa (Seijo y Cantero, 2012).

INVAP no contaba con una política formal de capacitación de recursos humanos. Sin embargo, la empresa facilitó y animó a sus ingenieros a buscar oportunidades de desarrollo académico y profesional en el extranjero, así como a establecer contactos con colegas de otras empresas o agencias. La interacción con los ingenieros de la NASA resultó fundamental para la adquisición de conocimientos y la resolución de problemas.

⁴ El modelo estructural replica las propiedades mecánicas del dispositivo de vuelo, pero se somete a pruebas mecánicas, térmicas, acústicas y de vibración extremas. Sirve para calificar y validar dispositivos, subsistemas, componentes y procesos de construcción.

⁵ El modelo de ingeniería es un prototipo de costo reducido con componentes de calidad comercial, que se utiliza para validar requisitos, procedimientos e interfaces de subsistemas.

“Nos enviaron a los ‘veteranos’ de la NASA, el personal que ya no estaba involucrado en los proyectos activos en ese momento. Estaban entusiasmados... Tuvimos muchísima suerte... Hoy en día sería imposible, con todas las normativas, que alguien contara en primera persona detalles de cómo hicieron las cosas y por qué” (Entrevista 17, ingeniero de Sistemas, 2019).

La NASA no veía a CONAE como un competidor, sino como un socio potencial en el desarrollo de proyectos satelitales conjuntos. Para ello, la agencia designó a personal retirado para capacitar a los ingenieros argentinos. Esto podría interpretarse como una reducción de la importancia atribuida al concepto de colaboración; sin embargo, la justificación es sencilla: dado que el personal activo se asigna a proyectos específicos, fue lógico contratar a personal retirado (con tiempo) para impartir la capacitación. Esta selección fue, sin que nadie lo supiera, un momento crucial en el desarrollo de la experiencia.

Inicialmente no se significó el aspecto que resultó crucial para la rápida y profunda adquisición de conocimientos por parte de los ingenieros argentinos: algunas de las condiciones locales relativas al diseño y la fabricación de estas tecnologías eran análogas a las condiciones iniciales de la NASA de hacía tres o cuatro décadas. Este resultó ser un enfoque eficaz en dos niveles: en primer lugar, los ingenieros de la NASA ya estaban familiarizados con estas condiciones y no estaban limitados por recursos que no estuvieran a la altura de los estándares internacionales en ese momento. En segundo lugar, la situación de aprendizaje fomentó un sentimiento de nostalgia que involucró a los ingenieros estadounidenses en mayor medida de lo previsto con sus colegas locales y con el proceso en sí.

“La interacción entre los distintos grupos fue muy fluida. Cuando había un problema, nos reuníamos con los mecánicos, los electricistas, y decíamos: ‘¿Cómo hacemos esto? Vamos allá’. Lo resolvimos mediante la interacción” (Entrevista 17, ingeniero de Sistemas 2019). Si bien cada grupo de trabajo era responsable del diseño y la fabricación de los subsistemas bajo su responsabilidad, la toma de decisiones en INVAP no era aislada, sino el resultado de un proceso de interacción que reflejaba el estilo de innovación desarrollado. Se estableció un proceso de colaboración informal entre los diversos grupos de trabajo responsables de las actividades espaciales, lo que facilitó la acumulación de conocimientos, la toma de decisiones y la resolución de problemas, y finalmente permitió la creación de satélites de órbita baja.

“Además del volante de inercia, desarrollamos las cámaras ópticas. Como no teníamos presupuesto, CONAE compró tres cámaras comerciales. Realizamos las adaptaciones para su funcionamiento en el espacio y, mediante ingeniería inversa, entendimos cómo funcionaba la relación entre la cámara y el software” (Entrevista 20, técnico óptico 2019).

La adquisición de múltiples capacidades por parte de INVAP fue posible gracias a la ejecución de tareas productivas que desafiaron el conocimiento disponible. Para abordar los problemas en cuestión, los ingenieros emplearon diversas estrategias, como la búsqueda de información especializada, la colaboración con proveedores, la adquisición de componentes comerciales para su posterior integración y la ingeniería inversa.

3.2. Acumulación de capacidades operativas de satélites en órbita geoestacionaria (1993-2006)⁶

En 1990, Argentina carecía de programas académicos en operaciones satelitales. Para solucionar este problema, Nahuelsat capacitó a ingenieros locales en el extranjero durante dieciocho meses, donde aprendieron de los proveedores del Nahuel 1a, adquiriendo experiencia conceptual en subsistemas y componentes satelitales. La capacitación explícita se complementó en Buenos Aires mediante interacciones entre personal local e ingenieros franceses e italianos radicados en la estación terrestre en Argentina (Entrevista 3, jefe de Calidad 2019). Estas interacciones fomentaron dinámicas de aprendizaje mediante la observación, el cuestionamiento y el intercambio de información en conversaciones formales e informales. Sin embargo, estos procesos no revelaron todos los detalles.

“Aprendimos mucho, pero muchos aspectos permanecieron ocultos. ¿Cómo se hizo ese cálculo? ¿Por qué se implementó en ese momento concreto y no más tarde o temprano? Había una parte del conocimiento que nunca se explicó porque, para ellos, eras un competidor” (Entrevista 11, jefe de Operaciones 2019).

En contraste con las interacciones cooperativas entre la NASA, CONAE e INVAP, las interacciones entre Nahuelsat y sus accionistas estuvieron influenciadas por dinámicas de poder, impulsadas principalmente por intereses comerciales que regulaban las acciones individuales y restringían la circulación del conocimiento. Las entidades europeas no estaban interesadas en fomentar el desarrollo autónomo, sino en promover el conocimiento necesario para mantener el estado operativo del satélite Nahuel 1a.

Pese a ello, se registraron algunos procesos de apropiación local de conocimientos. Ejemplo de ello, fue la producción local de procedimientos de maniobra. Las empresas fabricantes de la plataforma decidían los comandos que debían ejecutarse. Sin embargo, el proceso de producción de los mismos era situado, por lo que debía contemplar el formato organizacional de Nahuelsat, la pericia de los ingenieros y técnicos locales y la división de trabajo existente en la compañía.

El carácter situado de los procedimientos de maniobra exigió la participación local. Por lo tanto, los ingenieros argentinos conocieron detalles operativos del satélite Nahuel 1a, reflexionaron en torno a la tecnología adquirida por Nahuelsat y posteriormente, construyeron y codificaron nuevos comandos. Estos documentos contemplaban detalles sobre cada una de las operaciones, las personas participantes, los inconvenientes encontrados y las soluciones adoptadas en cada caso (Entrevista 11, jefe de Operaciones 2019).

Al igual que en INVAP, los ingenieros de Nahuelsat celebraban reuniones regulares para perfeccionar documentos preliminares. El responsable del área de operaciones asignaba a un ingeniero para redactar una plantilla, un documento interno que registraba el conocimiento esencial para las operaciones de la estación y del satélite. Revisadas en diferentes áreas de la empresa, estas plantillas aseguraron la calidad en los procesos de maniobra.

⁶ Se aclara que las periodizaciones de los apartados 3.1. y 3.2. responden a procesos simultáneos, lo que explica la superposición de años.

Por su parte, los técnicos adquirieron habilidades para resolver problemas bajo presión y circunstancias imprevistas mediante la ejecución repetida de comandos rutinarios y de maniobra de emergencia en el simulador, así como para mantener la operación satelital durante rutinas de trabajo prolongadas (Entrevista 11, jefe de Operaciones 2019). Estos procesos de aprendizaje basados en la práctica eran coherentes con los objetivos de Nahuelsat de desarrollar habilidades operativas locales. Estas capacidades tecnológicas no desafiaban los intereses comerciales de las empresas europeas, sino que apoyaban la expansión de sus unidades de negocio en América Latina.

3.3. ARSAT S.A. y la convergencia de capacidades para diseñar, construir y operar satélites

En 2001, Nahuelsat generó ventas anuales superiores a 35 millones de USD. Sin embargo, el rendimiento económico de la empresa estaba en declive debido a la acumulación de deuda contraída con el establecimiento del sistema de operación del Nahuel (Nahuelsat, 2001). Entre finales de 2001 y 2002, la trayectoria negativa de la empresa se intensificó significativamente debido a la caída de las ventas, el uso de la moneda local devaluada para contratos y su incapacidad para cumplir con sus obligaciones con los acreedores (Nahuelsat, 2002).

Los derechos espaciales de Argentina volvieron a verse comprometidos, ya que Nahuelsat no pudo asegurar la segunda posición orbital asignada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ni diseñar un plan de contingencia para el satélite Nahuel 1a. Como medida extraordinaria, los legisladores argentinos propusieron un proyecto de ley para revocar los derechos de Nahuelsat y diseñar una estrategia alternativa para ocupar las posiciones orbitales (Cámara de Diputados, Orden del día 2759, 2001). Sin embargo, la grave crisis económica, política y social que estalló en Argentina en diciembre de 2001 postergó esta iniciativa, reordenando las prioridades del Estado y relegando la soberanía satelital.

En 2003, un nuevo gobierno nacional revocó la Resolución 2.593/98, que había concedido a Nahuelsat derechos de coordinación e inició procedimientos con la UIT para extender la ocupación argentina de la posición orbital 81°O (Res. SC 188/04). En 2006, el Estado nacional creó la Compañía Argentina de Soluciones Satelitales (ARSAT S.A.), mediante aportaciones públicas de capital (Ley 26.092/06) y la transferencia de los activos de Nahuelsat (Decreto PEN 626/07). Al año siguiente, funcionarios de ARSAT S.A., en línea con los objetivos del gobierno nacional en materia de autonomía, definieron el Sistema Satelital Geoestacionario Argentino de Telecomunicaciones. Este proyecto implicaba el desarrollo de tres satélites (ARSAT-1, ARSAT-2 y ARSAT-3⁷) para explotar comercialmente las dos posiciones orbitales, proporcionar servicios de comunicaciones en todo el territorio argentino y promover la industria nacional. “Tuvimos que hacer un plan de negocio, en el que íbamos a lanzar un satélite a tiempo y donde dijimos que íbamos a fabricarlo internamente. Hicimos todo eso y fuimos a la UIT” (Entrevista 26, ex ministro de Comunicaciones 2019).

El proyecto satelital argentino se construyó a partir de una estrategia estatal de articulación de capacidades dispersas, que recuperó y resignificó saberes y experiencias acumuladas tanto en la operación comercial de satélites como en el diseño y gestión de proyectos tecnológicos complejos, desafiando enfoques que asumen trayectorias lineales. Esta estrategia estatal debe comprenderse a la luz de las condiciones macroeconómicas y políticas del período. La recuperación económica

⁷ En un escenario caracterizado por la llegada de un nuevo gobierno nacional con principios liberales, proyectos tecnológicos como ARSAT-3 fueron descontinuados.

iniciada en 2003, con un crecimiento del PBI industrial del 45 % entre 2002 y 2007 (Azpiazu y Schorr, 2010), combinada con una política deliberada de fortalecimiento del sistema científico-tecnológico (Albornoz y Gordon, 2011), creó una ventana de oportunidad para el desarrollo de iniciativas que, como ARSAT S.A., demandaban inversiones elevadas, continuidad temporal y un Estado dispuesto a asumir los riesgos de la innovación en sectores de frontera.

4. ¿Cómo crear un satélite de telecomunicaciones?

Entre julio de 2007 y septiembre de 2015, Argentina diseñó, fabricó, integró, ensayó y operó dos satélites geoestacionarios gracias a los esfuerzos conjuntos de dos empresas estatales: ARSAT S.A. e INVAP. Este logro constituyó un hito significativo en el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento en América Latina, presentando desafíos en dos niveles distintos:

- Nivel tecnológico: aunque INVAP ya había trabajado previamente en el diseño y fabricación de satélites en órbita baja, los satélites geoestacionarios imponen requisitos estructurales, de planificación y de fiabilidad más elevados. Estas demandas eran resultado de las diferencias en masa, ciclo de vida, disponibilidad, naturaleza y entorno operativo para las respectivas misiones satelitales.
- Nivel geopolítico: para las relaciones internacionales, el surgimiento de un país periférico con la capacidad de dominar tecnologías críticas tiene el potencial de intensificar la competencia en los mercados de alta tecnología; y debido a la naturaleza dual de la tecnología espacial, el potencial de alterar el equilibrio de poder global.

4.1. El diseño de ARSAT-1: entre restricciones nacionales e internacionales

El diseño de tecnologías intensivas en conocimiento implica múltiples etapas o niveles de planificación. A nivel más general, las negociaciones equilibran las necesidades e intereses en conflicto de los distintos actores (Aguirre, 2013). En este sentido, el diseño de ARSAT-1 integró numerosas dimensiones políticas, tecnológicas e industriales como asegurar la soberanía del gobierno nacional sobre la posición orbital 81°O; avanzar en el plan de negocio de ARSAT S.A. con ventas a escala continental; contribuir a la dinamización tecno-productiva de Argentina; fomentar el desarrollo de tecnologías críticas en INVAP; adecuarse a los estándares internacionales de calidad y eficiencia; y satisfacer la creciente demanda de servicios de comunicaciones por satélite.

“El diseño fue un esfuerzo colaborativo. Desarrollamos los requerimientos. INVAP presentó varias propuestas detalladas. Aprendimos mucho porque contratamos consultores extranjeros con cuarenta años de experiencia en áreas en las que ni INVAP ni nosotros teníamos experiencia” (Entrevista 3, jefe de Calidad, 2019).

El diseño del satélite fue el resultado de una propuesta del Estado Nacional, articulada entre ARSAT S.A. e INVAP. Sin embargo, se diferenció de experiencias previas del sector espacial argentino, en particular de los proyectos públicos de investigación desarrollados bajo la órbita de la CONAE. En este caso, ARSAT S.A. asumió un rol central en la definición de la misión, estableciendo objetivos operativos y comerciales

que se apoyaron en aprendizajes acumulados durante la etapa de operación satelital de Nahuelsat (Entrevista 13, jefe de proyecto ARSAT-1, 2019).

La elección de INVAP como contratista principal no fue automática. Se presentaron cinco propuestas para el diseño de los satélites, de las cuales la firma con sede en Bariloche fue seleccionada por ser la única empresa nacional que reunía los requisitos de idoneidad exigidos por la alta complejidad del proyecto (Memoria del Directorio de ARSAT S.A., 2007). Este dato revela la orientación de la política tecnológica puesto que, ante una necesidad estratégica, el Estado argentino optó deliberadamente por desarrollar capacidades locales existentes. De este modo, el programa ARSAT se inscribió en un nuevo marco de política pública neo-desarrollista, en el que el Estado recuperó el rol de principal impulsor, articulador y cliente de un desarrollo tecnológico orientado a la construcción de capacidades locales.

La traducción de estos lineamientos en especificaciones técnicas fue realizada por INVAP en un contexto en el que ninguna de las organizaciones contaba con experiencia plena en el desarrollo de satélites geoestacionarios. Frente a esta limitación, la incorporación de consultores extranjeros respondió a una estrategia selectiva de acceso a conocimiento crítico, basada en esquemas de cooperación internacional previamente utilizados por la empresa.

El proceso de diseño estuvo atravesado por tensiones entre INVAP y ARSAT en torno a las estrategias de adquisición y desarrollo tecnológico. Mientras ARSAT S.A. privilegiaba la compra de subsistemas a proveedores internacionales consolidados para reducir riesgos, INVAP promovía el desarrollo local de componentes críticos como vía para fortalecer capacidades endógenas. Estas divergencias expresaron concepciones contrapuestas sobre el alcance y los tiempos de la autonomía tecnológica en un contexto periférico (Entrevista 8, jefe de proyecto ARSAT-1, 2019). Estas tensiones replicaban, en el plano organizacional, las prioridades del propio proyecto político que lo impulsaba. Por un lado, sostener simultáneamente los plazos comerciales que defendían la posición orbital y, por otro, los objetivos de desarrollo endógeno propios del giro neo-desarrollista.

“En el caso de ARSAT S.A., compramos mucho y eso tiene que ver con la defensa de las posiciones orbitales. Teníamos que llegar a tiempo. Comprar soluciona los problemas de tiempo y dinero. Teníamos la capacidad de fabricar cualquier componente si lo queríamos” (Entrevista 13, jefe de proyecto ARSAT-1, 2019).

La negociación de intereses y la premura llevó a la adquisición de subsistemas a proveedores extranjeros para cumplir tanto con plazos políticos como comerciales, manteniendo al mismo tiempo el objetivo del gobierno de fomentar la industria nacional de satélites. El liderazgo del proyecto permaneció en manos de entidades públicas nacionales, mientras que la participación de empresas aeroespaciales globales reforzó la fiabilidad y seguridad tecnológicas.

La selección de los proveedores también fue resultado de la negociación. El gobierno argentino buscó preservar las reservas de divisas, al tiempo que priorizaba consideraciones políticas y diplomáticas. En consecuencia, el secretario de Comunicaciones tomó medidas para adquirir varios componentes del satélite de China.

“Era más barato lanzarlo y fabricarlo usando componentes chinos. Pero el ministro de Asuntos Exteriores me dijo: ‘Está bien, puedes hacerlo con los chinos, pero ¿quién te lo va a asegurar? No tienes mucha experiencia, ¿y si falla?’ Los franceses nos convencieron de lanzarlo con ellos” (Entrevista 26, ex ministro de Comunicaciones, 2019).

Más allá de consideraciones estrictamente técnicas, la exclusión de alternativas chinas respondió a un entramado de restricciones institucionales y geopolíticas: las aseguradoras y asesores comerciales, actores clave en misiones geoestacionarias, condicionaron la cobertura del satélite y del lanzamiento a la utilización de subsistemas y vehículos provenientes de mercados considerados “confiables” (Entrevista 13, jefe de proyecto ARSAT-1, 2019). En este contexto, las diferencias organizacionales y los límites percibidos a la transferencia de conocimiento reforzaron la inviabilidad de dicha opción, delimitando de manera exógena el espacio de decisiones tecnológicas disponibles para el proyecto. Los márgenes de acción de la política pública, por más ambiciosos que fueran sus objetivos de autonomía, quedaron constreñidos por la arquitectura institucional del mercado global de tecnología satelital, que operó como un filtro jerarquizador de opciones técnicas.

Los equipos técnicos de ARSAT S.A. e INVAP priorizaron criterios de fiabilidad, certificación y acceso irrestricto a la información técnica, lo que favoreció la selección de proveedores europeos con los que existían vínculos previos.

- Thales Alenia Space (Francia) proporcionó la unidad de procesamiento de satélites, el sistema de comunicación y los paneles solares;
- Astrium (Alemania), el cilindro central y el subsistema de propulsión;
- ECTA (Bélgica), el panel de comunicaciones;
- EADS Astrium (Alemania), la unidad de procesamiento y el generador solar;
- RUAG Space (Suiza), los dispositivos para la rotación de los paneles solares;
- SAFT (Francia), la batería;
- Selex Galileo (Italia), los sensores AOCS;
- Honeywell (Estados Unidos), las ruedas de reacción y los giroscopios.
- Ariane Space (Francia) fue responsable del lanzamiento de los satélites (Rus y Bianchi, 2016).

Los factores críticos en el proceso de selección de proveedores incluyeron la experiencia técnica de las empresas, su historial de vuelo y la certificación de sus sistemas aeroespaciales. A estos se sumaron los vínculos preexistentes y las afinidades organizacionales entre equipos de ingeniería, que influyeron en la evaluación de riesgos y en las posibilidades de aprendizaje. Finalmente, estas decisiones estuvieron fuertemente condicionadas por consideraciones geopolíticas que operaron como criterios de exclusión y jerarquización tecnológica.

“Estados Unidos tiene un nivel muy alto de protección de la información tecnológica. La burocracia asociada a la compra de un determinado componente es alta, a veces la información no llega porque no pueden proporcionarte un cierto nivel de información” (Entrevista 13, jefe de proyecto ARSAT-1, 2019).

A comienzos del siglo XXI, el Departamento de Comercio de Estados Unidos revisó las restricciones de acceso a tecnologías de uso dual, lo que implicó que numerosos componentes se entregaran como unidades selladas, frecuentemente sin documentación técnica. Al impedir su apertura, inspección o modificación, estos dispositivos operaron como verdaderas cajas negras, limitando las posibilidades de aprendizaje y apropiación del conocimiento. Estas restricciones afectaron incluso a países con acuerdos formales de cooperación con Estados Unidos (Zelnio, 2007). En este escenario, ARSAT S.A. e INVAP priorizaron la adquisición de subsistemas críticos a proveedores europeos, donde el acceso al paquete tecnológico resultaba más compatible con los objetivos de aprendizaje y los plazos del proyecto.

Este proceso de diseño revela que la definición de la trayectoria técnica del ARSAT-1 no fue un ejercicio de optimización ingenieril, sino un proceso de negociación política y estratégica en un campo minado de restricciones comerciales y geopolíticas.

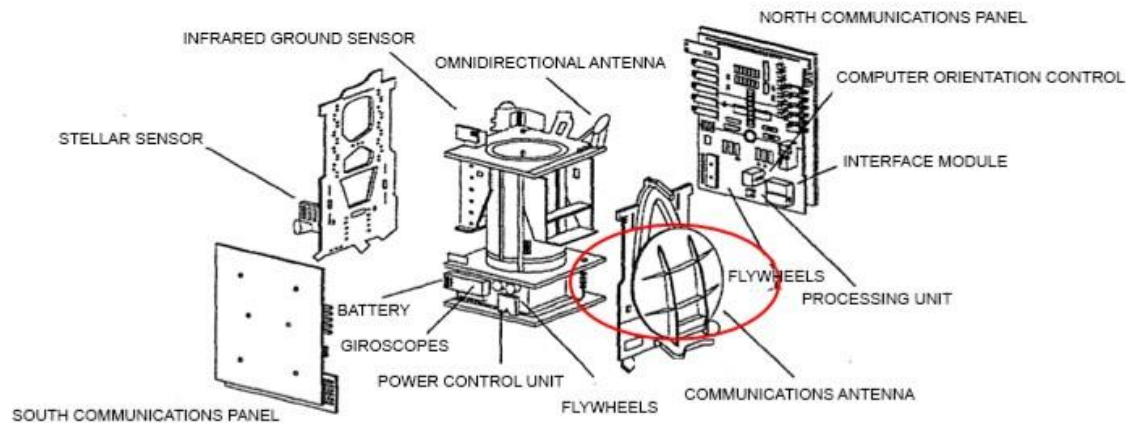
4.2. Diseño, rediseño y fabricación de la plataforma satelital ARSAT-3K

Con el objetivo de mitigar riesgos y cumplir con los plazos de fabricación, ARSAT S.A. e INVAP optaron por una plataforma satelital basada en una arquitectura similar a la Spacebus 3000B2 desarrollada por Thales Alenia Space. Esta elección se sustentó en su amplio historial de vuelo y en su robustez técnica, lo que garantizaba una alta compatibilidad con las capacidades organizacionales y tecnológicas disponibles a nivel local.

“La plataforma ARSAT-3K pesa tres toneladas. Era más pequeña que las plataformas de empresas europeas y norteamericanas (...) debido a lo que INVAP podía hacer (...) Salió bien porque acabábamos de empezar. Quizá más adelante se podría instalar un satélite más grande, pero en ese momento era demasiado” (Entrevista 1, ex vicepresidente ARSAT, 2018).

Si bien existían plataformas satelitales de mayor masa disponibles en el mercado, su adopción habría requerido mayores niveles de inversión y plazos de fabricación más extensos, en contradicción con los objetivos políticos del gobierno y las prioridades comerciales de ARSAT S.A. Asimismo, la plataforma seleccionada se ajustaba a las dimensiones de la sala limpia en construcción en la sede de INVAP en Bariloche, lo que introdujo un condicionamiento infraestructural adicional en la definición del diseño. **(Figura 1).**

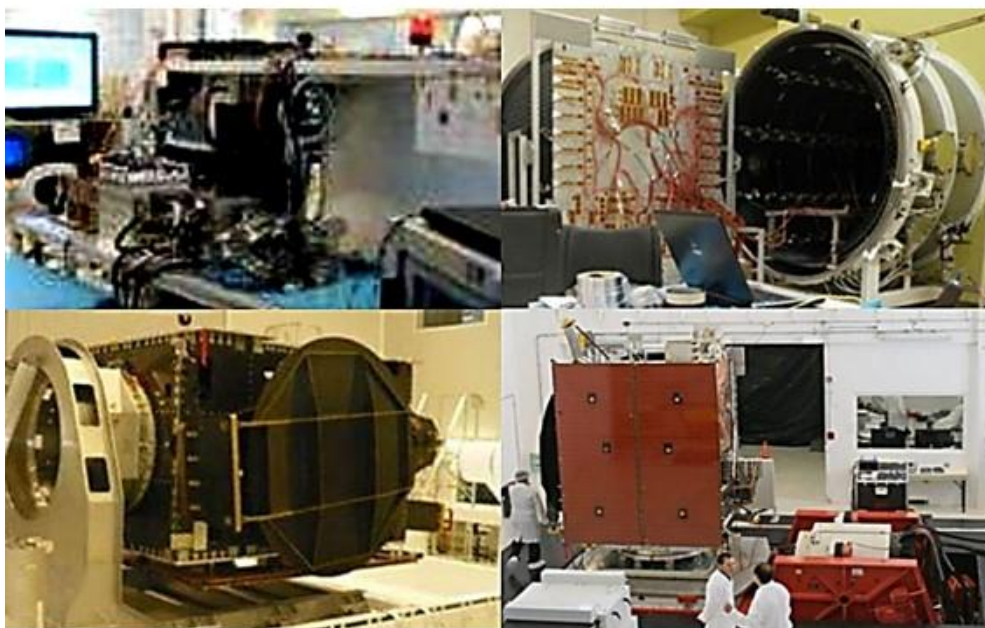
Figura 1. Plataforma ARSAT-3K



Fuente: Plan Satelital Geoestacionario Argentino de Telecomunicaciones (2015). Las señalizaciones son propias

Para el desarrollo de la plataforma, INVAP adoptó un enfoque intensivo en modelos físicos (**Figura 2**), construyendo un modelo de ingeniería, un modelo estructural de calificación, un modelo térmico de calificación y un modelo de vuelo. Esta estrategia se apartó de las prácticas dominantes de los grandes fabricantes internacionales, que privilegian simulaciones computacionales avanzadas, pero resultó funcional al contexto local. Si bien implicó mayores costos y tiempos en etapas tempranas, el uso sistemático de prototipos físicos permitió mitigar riesgos, fortalecer la eficiencia tecno-productiva y generar procesos de aprendizaje práctico fundamentales para la construcción de capacidades endógenas.

Figura 2. Modelos físicos de la plataforma de ARSAT-1*



* Arriba a la izquierda, modelo de ingeniería; arriba a la derecha, modelo térmico; abajo, modelo estructural. Fuente: INVAP S.E.

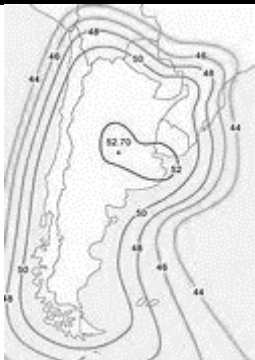
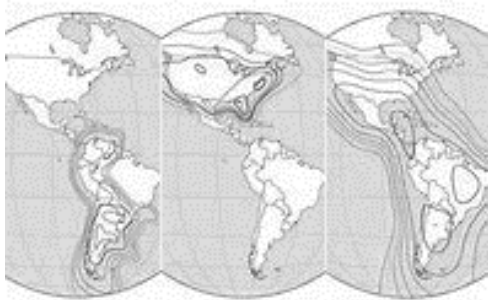
Este aprendizaje, en gran medida tácito, se consolidó a través de dinámicas de trabajo interdisciplinarias y fue progresivamente codificado mediante una documentación exhaustiva de procesos, lo que resultó central para la verificación de requerimientos, la gestión del riesgo y la acumulación organizacional de capacidades más allá de los equipos específicos involucrados. Complementariamente, los ingenieros desarrollaron modelos analíticos para representar subsistemas no reproducibles en pruebas terrestres, fortaleciendo capacidades existentes (Entrevista 20, técnico óptico, 2019).

“Los cambios en la plataforma ARSAT-2 tenían que ver con el sistema mecánico, ya que INVAP estaba a cargo de la estructura. Tuvimos la posibilidad de intervenir en ese diseño para proponer un diseño más optimizado, pero, dado que el peso de la carga útil aumentó, teníamos pocos elementos que pudieran entrar en la masa de lanzamiento” (Entrevista 37, jefe de proyecto ARSAT-2, 2023).

Durante la segunda misión, la experiencia acumulada de INVAP en ingeniería mecánica resultó decisiva. ARSAT S.A. definió una misión más exigente, basada en la plataforma ARSAT-3K y una carga útil significativamente más compleja —con tres antenas y 26 transpondedores—, lo que incrementó de manera sustantiva la masa total del satélite (**Tabla 1**). Esta configuración superó los límites de carga útil del vehículo de lanzamiento originalmente previsto.

Frente a esta restricción, y tras una serie de evaluaciones técnicas, los ingenieros de INVAP optaron por optimizar la estructura mecánica de la plataforma, reduciendo peso y mejorando su eficiencia sin modificar los requerimientos funcionales de la misión (Entrevista 37, jefe de proyecto ARSAT-2, 2023). Esta decisión puso en juego capacidades endógenas previamente acumuladas y evidenció la capacidad de reconfiguración técnica del proyecto frente a restricciones operativas y externas.

Tabla 1. Parámetros técnicos de ARSAT-1 y ARSAT-2

	ARSAT-1	ARSAT-2
Área de cobertura		
Plataforma	ARSAT-3K	ARSAT-3K optimizado
Vida útil	15 años	15 años
Posición	71,8°O	81°O
Dimensiones	2m x 1,8m x 3,95m	2,9 m x 1,8 m x 2,2 m
Masa de lanzamiento	3000 kg.	2977 kg.
# de transpondedores	24 Ku	Banda 20 Ku 6 Banda C
Antena	1 fija (2m)	1 fija, banda Ku (1,3 m) 1 desplegable, banda Ku (2m)

		1 desplegable, banda C (1,3 m)
Sistema de propulsión	Propulsores Astrium S400 LAE y S10 y cuatro volantes de inercia	Propulsores Astrium S400 y 16 S10 y cuatro volantes de inercia
Potencia	3,4 KW	3,5 KW

Fuente: propia elaboración

Para optimizar la plataforma, INVAP implementó un conjunto de procedimientos orientados a la reducción de masa, acompañados por análisis mecánicos sucesivos. Las primeras intervenciones se concentraron en elementos estructurales, componentes térmicos y sistemas de fijación de las antenas. Los análisis posteriores mostraron que una plataforma más liviana podía sostener una carga útil más exigente, particularmente durante la fase crítica de lanzamiento (**Figura 3**).

Este proceso no implicó únicamente ajustes técnicos, sino una redefinición de capacidades sociotécnicas. La fijación de nuevos parámetros de diseño y fabricación permitió garantizar el desempeño operativo bajo restricciones estrictas de tamaño y peso, restricciones que se correspondían tanto con las capacidades productivas locales como con los requerimientos comerciales de ARSAT S.A. En este marco, la adaptación a estándares tecnológicos internacionales y el cumplimiento de decisiones políticas y comerciales no supuso una simple adopción pasiva, sino un proceso activo de resignificación técnica, en el que se negociaron márgenes de autonomía dentro de restricciones estructurales.

Figura 3. ARSAT-2 en la sala limpia de INVAP S.E.



Fuente: INVAP S.E.

En este sentido, la optimización de la plataforma ARSAT-3K para la misión ARSAT-2 no representó un simple 'escalón' ascendente en una secuencia tecnológica predefinida, sino una reconfiguración situada y estratégica de capacidades preexistentes. Este proceso ilustra de manera concreta la lógica de desarrollo que cuestiona el modelo lineal de la Escalera Tecnológica Espacial (STL), al mostrar que la complejidad técnica se construye mediante la articulación adaptable de conocimientos, restricciones y objetivos específicos, y no mediante la mera progresión por etapas universales.

4.3. Aprendizaje y desarrollo de capacidades: el subsistema térmico

El diseño y fabricación de los satélites ARSAT-1 y ARSAT-2 se desarrolló en un marco institucional particular, en el que ARSAT S.A. actuaba como cliente y responsable de la misión, mientras que INVAP asumía el rol de fabricante principal. Esta relación formal dio lugar a tensiones recurrentes entre equipos técnicos de ambas organizaciones, cuyas diferencias de enfoque y criterios técnicos se tradujeron en desacuerdos durante distintas etapas del proyecto. Lejos de constituir anomalías, estos conflictos formaron parte del proceso de aprendizaje organizacional y de construcción de capacidades sociotécnicas.

El subsistema térmico constituye un ejemplo particularmente ilustrativo de estas dinámicas. Al operar en órbita geoestacionaria, los satélites enfrentaban condiciones extremas de radiación y variaciones térmicas, lo que exigía soluciones tecnológicas más complejas que aquellas previamente desarrolladas en el país para misiones de órbita baja (Entrevista 25, ingeniero, 2019). Si bien INVAP contaba con experiencia previa en tratamientos térmicos, esta resultó insuficiente para las exigencias del nuevo entorno, lo que impulsó el desarrollo de soluciones adaptadas, basadas en el uso de Reflectores Solares Ópticos (OSR) (**Figura 4**) e innovaciones en su integración estructural (Entrevista 3, jefe de Calidad, 2019).

Estas decisiones implicaron una resignificación de prácticas tecnológicas existentes, pero también introdujeron nuevos riesgos. Durante las primeras etapas de fabricación, se registraron fallas críticas asociadas a la adhesión de los OSR, lo que puso en riesgo el cumplimiento de la misión. Frente a esta situación, ARSAT S.A. e INVAP debieron optar entre refabricar los paneles o abordar los problemas de adhesión en las estructuras existentes (Entrevista 24, jefe de Aseguramiento de Producto, 2023).

Figura 4. Calificación de los OSR



Fuente: INVAP S.E.

El análisis de las fallas reveló limitaciones en la infraestructura productiva y en los controles ambientales durante el proceso de fabricación, vinculadas a decisiones previas de inversión, localización y secuenciación del proyecto, lo que obligó a redefinir

procedimientos, rediseñar equipamiento y fortalecer los sistemas de documentación y trazabilidad (Entrevista 25, ingeniero, 2019).

Este proceso también puso de relieve tensiones vinculadas a las relaciones internacionales del proyecto. ARSAT S.A. contó desde el inicio con el asesoramiento de empresas líderes del sector, particularmente europeas, cuyos estándares y metodologías gozaban de alta legitimidad entre los actores locales. Sin embargo, la introducción de innovaciones por parte de INVAP generó resistencias, especialmente en su interacción con Thales Alenia Space, que simultáneamente actuaba como asesor técnico y competidor potencial (Entrevista 37, jefe de proyecto ARSAT-2, 2023).

Estas tensiones no solo revelaron asimetrías de gobernanza en las relaciones con proveedores globales, sino que también activaron procesos de reflexividad crítica al interior de los equipos técnicos locales. En palabras de uno de los jefes de proyecto, el desafío no era sólo aprender nuevas técnicas, sino en muchos casos 'desaprender' lo enseñado por consultores extranjeros, cuya lógica respondía a estándares, costos y dinámicas de mercado no siempre alineadas con los objetivos de autonomía y competitividad local. Esta capacidad crítica de reevaluar y, en ocasiones, 'desaprender' el conocimiento transferido constituye una dimensión fundamental de la agencia tecnológica en contextos periféricos. Lejos de ser una mera reproducción de diseños o procedimientos foráneos —que consolidaría dependencias—, este proceso de reflexividad y selección activa es el núcleo mismo de una trayectoria sociotécnica situada, donde la autonomía se construye a través de la resignificación estratégica de los recursos cognitivos disponibles, desbordando los modelos lineales de desarrollo.

El caso del subsistema térmico pone de manifiesto que la generación de capacidades en escenarios periféricos es un proceso intrínsecamente conflictivo y experimental, donde los fracasos técnicos se convierten en insumos cruciales para el aprendizaje organizacional, la redefinición de rutinas productivas y formalización de mecanismos de control y documentación. La identificación y gestión de no-conformidades⁸, inicialmente resistida por los equipos técnicos, se transformó en una práctica central para la acumulación de conocimiento y la reducción de riesgos en proyectos posteriores. Al mismo tiempo, las tensiones con proveedores internacionales revelaron las asimetrías de poder que estructuran la producción de tecnologías complejas y condicionan la circulación del conocimiento en la periferia. Desde esta perspectiva, las capacidades desarrolladas en el marco del proyecto ARSAT no pueden ser comprendidas únicamente en términos de desempeño técnico, sino como el resultado de procesos sociotécnicos situados, atravesados por decisiones políticas, relaciones jerárquicas y aprendizajes colectivos, dimensiones que permanecen invisibilizadas en los enfoques evolutivos y secuenciales del desarrollo tecnológico.

4.4. Acumulación de capacidades: Centro de Ensayos de Alta Tecnología de Argentina

Un segmento crítico de la cadena de valor satelital es el ensayo de sistemas y subsistemas del satélite, instancia que permite replicar condiciones extremas del entorno espacial —vacío, vibración, estrés térmico y radiación— y cuya ausencia constituye una de las principales barreras de entrada para países periféricos. En las etapas iniciales del desarrollo satelital argentino, la falta de infraestructura local obligó a realizar ensayos en centros extranjeros, particularmente en Brasil y Estados Unidos, lo que si bien favoreció aprendizajes técnicos y vínculos de cooperación, reforzaba una

⁸ Las no conformidades son problemas técnicos que surgen cuando algún componente o subsistema no funciona según los parámetros esperados.

dependencia estructural respecto de capacidades externas (Entrevista 25, ingeniero, 2019).

En el marco del proyecto ARSAT, esta limitación adquirió una relevancia estratégica. Los satélites geoestacionarios de telecomunicaciones requerían ensayos que no podían realizarse en la región, y su traslado a centros europeos o estadounidenses implicaba riesgos adicionales, mayores costos y potenciales demoras incompatibles con los plazos políticos y comerciales del programa (Entrevista 36, director CEATSA, 2023). Frente a este escenario, y a partir de demandas formuladas por INVAP durante las etapas iniciales del proyecto, el Ministerio de Planificación Federal impulsó la creación del Centro de Ensayos de Alta Tecnología (CEATSA), cuya construcción se desarrolló de manera paralela al diseño y fabricación de los satélites.

La decisión de establecer una instalación nacional de ensayos de alta complejidad constituyó una intervención estatal estratégica, orientada no solo a resolver un problema operativo inmediato, sino a consolidar capacidades estructurales en un segmento crítico de la industria aeroespacial. La localización de CEATSA junto a la sala limpia de INVAP facilitó la articulación entre las fases de diseño, fabricación, integración y pruebas, fortaleciendo la autonomía relativa del proyecto y reduciendo la dependencia de infraestructuras externas. Esta decisión de política pública expresó la orientación del Estado, que asumió los costos y plazos de construir infraestructura propia, aun cuando ello implicara desarrollos paralelos y mayores complejidades de coordinación.

Si bien la configuración inicial de CEATSA requirió la importación de equipamiento principal y la adopción de estándares internacionales consolidados, el proceso de puesta en marcha permitió la formación de recursos humanos especializados, la apropiación situada de metodologías de ensayo y la transformación de estos estándares en prácticas productivas localmente controladas (Entrevista 36, director CEATSA, 2023).

Más allá de su contribución directa al proyecto ARSAT, CEATSA amplió el horizonte de capacidades del sector tecnológico argentino, habilitando ensayos de alta precisión aplicables a otros sectores intensivos en conocimiento. En este sentido, su creación constituye quizás la muestra más clara de cómo una decisión de política pública de alto nivel puede alterar estructuralmente una trayectoria socio-técnica, creando una nueva infraestructura de capacidades que trasciende el proyecto específico que la motivó. Esto es difícil de explicar desde enfoques que conciben el desarrollo tecnológico como una secuencia de hitos aislados o como un simple resultado de la acumulación de artefactos.

5. Trayectorias sociotécnicas no lineales y límites del modelo de la Escalera Tecnológica Espacial

Las jerarquías globales en la producción y control de tecnologías espaciales han sido frecuentemente interpretadas a través de marcos analíticos que conciben el desarrollo tecnológico como una secuencia universal de etapas acumulativas, naturalizando trayectorias lineales hacia la autonomía. En el campo específico de la política espacial, uno de los modelos más difundidos para describir y orientar estas trayectorias nacionales es la Escalera Tecnológica Espacial (*Space Technological Ladder*, STL), propuesta por Wood y Weigel (2012). Este enfoque concibe el desarrollo espacial como una progresión ordenada de etapas organizativas, técnicas e industriales, que incluyen: (1) la creación de una agencia espacial nacional; (2) la adquisición y operación de satélites en órbita baja; (3) la adquisición y operación de satélites geoestacionarios; y (4) el desarrollo y control de vehículos lanzadores. En este marco, el avance a lo largo

de la escalera se asocia con mayores grados de autonomía tecnológica y capacidades nacionales.

Más allá de su formulación académica original, el modelo STL adquirió relevancia como heurística dominante en el diseño de políticas públicas espaciales, siendo incorporada explícita o implícitamente en documentos de orientación estratégica y recomendaciones emitidas por organismos internacionales y regionales. En particular, informes recientes de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) retomaron este modelo como referencia para pensar el desarrollo del sector espacial en América Latina, consolidando su estatuto no solo como herramienta descriptiva, sino como lenguaje experto legítimo para la formulación de políticas públicas (OEI, 2024).

Sin embargo, la adopción del modelo STL como marco de política presenta tensiones significativas cuando se la confronta con trayectorias empíricas periféricas caracterizadas por discontinuidades, reconfiguraciones institucionales y procesos simultáneos de acumulación y desacumulación de capacidades. En el caso argentino, la experiencia de diseño y fabricación de los satélites geoestacionarios ARSAT-1 y ARSAT-2 no puede ser interpretada adecuadamente como un “escalón” más dentro de una progresión lineal. Por el contrario, tal como se observa en la **Tabla 2**, los satélites ARSAT-1 y ARSAT-2 fueron construidos a partir de la articulación de capacidades previamente desarrolladas en otros sectores estratégicos —como el nuclear, la aeronáutica y los satélites de órbita baja— y de decisiones de política pública que habilitaron su convergencia en un proyecto específico. En este sentido, se insertan en una trayectoria tecno-productiva discontinua y sinuosa, difícilmente interpretable como un “escalón” dentro de una progresión lineal.

Tabla 2. Capacidades por misión espacial

Año	Misión Infraestructura	Artefactos	Capacidades
1960	CNIE*	Agencia Espacial	Investigación y gestión de vehículos lanzadores, sondas, proyectos BIO
1961	Alfa Centauro	Cohete espacial	Planta de propelente, Campo de Ensayo; División de Análisis de Sistemas de Armas; desarrollo de infraestructuras
1961	Beta Centauro		
1962	Gamma Centauro		
1962	DIM		
1965	Orión I		
1966	Orión II		
1967	Rigel		
1969	Canopus		
1969	Castor		
1976	INVAP	Contratista principal	Diseño y fabricación de reactores nucleares; satélites LEO y GEO; diseño y fabricación de subsistemas y componentes; desarrollo de pruebas; manejo de normas de la NASA y la ESA.
1985	Cóndor I	Cohete espacial	Sistemas de guiado y control; desarrollo sólido de propelente; personal calificado
1991	Cóndor II*		
1991	CONAE	Agencia Espacial	Investigación y desarrollo de satélites LEO

1996	SAC-B	LEO satelital	Diseño, fabricación e integración de subsistemas y componentes de satélites; uso de los estándares de la NASA
1997	Nahuel 1a	Satélite GEO	Operación nominal y contingente por satélite GEO; operación en la estación terrestre
1998	SAC-A	LEO satelital	Diseño, fabricación e integración de subsistemas y componentes de satélites; uso de los estándares de la NASA.
2000	SAC-C		Gestión de proyectos complejos; integración de componentes en carga útil diversa.
2006	ARSAT S.A.	Operador de satélites	Gestión y gestión de recursos orbitales GEO; diseño de un plan geoestacionario y un sistema nacional de satélites.
2007	Tronador I	Cohete espacial	Pruebas de navegación, elementos de guiado y control; aviónica; sistema de posicionamiento GPS; control de actitud
2008	Tronador Ib		
2010	CEATSA	Centro de pruebas	Diseño y ejecución de pruebas ambientales a nivel de sistema para satélites LEO y GEO
2011	SAC-D/Acuario	LEO satelital	Medición de interferencias; integración de paneles solares domésticos; desarrollo de proveedores
2014	ARSAT-1	Satélite GEO	Diseño, fabricación, integración de subsistemas y componentes en satélites GEO; gestión de compras con proveedores extranjeros; gestión de normas de la ESA; seguros y gestión de lanzamientos.
2015	ARSAT-2		
2017	ARSAT-3*		
2018	SAOCOM 1A	LEO satelital	Diseño, fabricación, integración y pruebas de antena de radar
2020	SAOCOM 1B		

Fuente: elaboración propia.

* Proyectos cancelados

La **Tabla 2** permite visualizar de manera diacrónica una trayectoria caracterizada por acumulaciones parciales, interrupciones y reconfiguraciones de capacidades, que no se ajusta a la progresión secuencial propuesta por la Escalera Tecnológica Espacial. Al hacerlo, pone de manifiesto el contraste entre una trayectoria empírica situada y los criterios normativos de “avance” implícitos en el modelo STL.

En particular, STL presenta al menos tres limitaciones ontológicas relevantes para para el diseño de políticas públicas aeroespaciales en la periferia:

- 1- invisibiliza los procesos de desacumulación y reconfiguración de capacidades. Por ejemplo, proyectos truncados como el misil Cóndor II o el satélite ARSAT-3, lejos de constituir meros fracasos técnicos, fueron espacios de aprendizaje, resignificación y meta-aprendizaje, al igual que los considerados hitos tecnológicos.
- 2- naturaliza jerarquías tecnológicas preexistentes, al asumir la existencia de una única frontera de progreso y un conjunto homogéneo de hitos que todos los países deberían alcanzar. Esta concepción universalista tiende a legitimar una división internacional del trabajo tecnológico, en la que ciertos dominios —particularmente aquellos asociados a tecnologías duales o estratégicas— permanecen concentrados en los países centrales, mientras que a los países periféricos se les asignan trayectorias de desarrollo condicionadas por los regímenes internacionales de control tecnológico.

- 3- prescribe caminos “legítimos” de desarrollo que orientan las decisiones de política pública hacia secuencias consideradas deseables, aun cuando estas no resulten coherentes con las capacidades efectivamente existentes ni con las condiciones históricas, institucionales, económicas y geopolíticas de cada país. En este sentido, la adopción acrítica del modelo puede contribuir a desvalorizar estrategias alternativas basadas en la flexibilidad organizacional, la resignificación de capacidades acumuladas y la participación en proyectos complejos convergentes, que resultaron centrales en la trayectoria espacial argentina.

Desde un enfoque constructivista y situado, la autonomía tecnológica no puede concebirse como una meta universal alcanzable mediante la simple “escalada” de niveles de complejidad técnica. Más bien, constituye una condición relativa, negociada y políticamente disputada, que emerge de decisiones estratégicas sobre qué capacidades desarrollar localmente, cuáles adquirir externamente, bajo qué condiciones y con qué márgenes de control. En este sentido, la experiencia de los satélites ARSAT no representa un hito en la Escalera Tecnológica Espacial, sino una evidencia empírica de los límites analíticos y políticos de este marco cuando se lo aplica a contextos periféricos.

Así, más que una escalera, la trayectoria espacial argentina se configura como un campo de tensiones, en el que las capacidades tecnológicas se construyen, dismantelan y reconfiguran a través de decisiones de política pública, disputas geopolíticas y arreglos institucionales. Analizar el modelo STL como marco de política pública —y no solo como modelo teórico— permite visibilizar estas tensiones y abrir el debate sobre enfoques alternativos para el diseño de políticas espaciales en América Latina, más sensibles a las trayectorias reales, a las capacidades efectivamente existentes y a las desigualdades estructurales que atraviesan la economía global del conocimiento.

El modelo STL reitera los errores de mediados del siglo XX de la Teoría del Desarrollo propuesta por Rostow (1960) que, bajo parámetros eurocentristas, modelizaba un proceso de crecimiento tecno-productivo por etapas, lineal y universalista. Los intelectuales latinoamericanos desarrollaron como contrapunto, la Teoría de la Dependencia (Furtado, 1964), destacando los condicionantes estructurales globales y las especificidades locales que hacían inviable el funcionamiento de la teoría. Del mismo modo que antaño, los estudios de base empírica nacionales y situados demuestran los preconceptos, ingenuidades y limitaciones de este tipo de modelos universalistas.

Conclusión: hacia un modelo más situado, relacional y multidimensional de la política espacial en la periferia

A partir del estudio del sector satelital de telecomunicaciones argentino entre 2007 y 2015, este artículo mostró que la emergencia de los satélites ARSAT-1 y ARSAT-2 fue el resultado de un proceso de articulación institucional, recombinación de aprendizajes previos y gestión política de dependencias y asimetrías estructurales.

Los hallazgos permiten extraer tres implicaciones centrales para el diseño de las políticas de innovación en países periféricos. En primer lugar, la política pública debe entenderse como un dispositivo de articulación. Su rol crucial no es solo financiar o promover un sector, sino orquestar la convergencia de capacidades heterogéneas y dispersas —las de diseño y gestión de INVAP para satélites de órbita baja, y las

operativo-comerciales de Nahuelsat para la órbita geoestacionaria— en un proyecto nacional unificado. Esto revela que la generación de capacidades complejas avanza menos por acumulación secuencial que por resignificación y recombinación estratégica de activos cognitivos, organizativos y materiales ya existentes.

Por otra parte, las trayectorias tecnológicas periféricas son intrínsecamente tardías, discontinuas y conflictivas, puesto que incluyen dinámicas de creación, interrupción, desacumulación y reapropiación de capacidades. Los proyectos truchos y episodios de fracaso parcial, tales como las no-conformidades del subsistema térmico, habitualmente son excluidos de los relatos del éxito tecnológico. Sin embargo, constituyen espacios de aprendizaje que desarrollaron capacidades organizacionales y cognitivas posteriormente movilizadas. Reconocer estos procesos resulta clave tanto para comprender trayectorias tecnológicas donde la continuidad no está garantizada y donde la política pública cumple un rol central en la preservación y reorientación de los aprendizajes acumulados.

Finalmente, y como corolario de lo anterior, el artículo ofrece una crítica empíricamente fundada a los modelos normativos y lineales de desarrollo tecnológico, encarnados en la Escalera Tecnológica Espacial (STL) en el campo específico del espacio ultraterrestre. El caso argentino evidencia que la STL, al prescribir una secuencia universal de etapas, invisibiliza los procesos políticos de reconfiguración, las restricciones geopolíticas que moldean las opciones técnicas y la legitimidad de trayectorias alternativas basadas en la flexibilidad y la convergencia. Su adopción acrítica en agendas de política, incluso por organismos internacionales, puede, por tanto, obturar estrategias viables y situadas de construcción de autonomía tecnológica.

Asimismo, el modelo STL, y los enfoques lineales en general, no logran captar las dinámicas reflexivas y críticas que son constitutivas del aprendizaje tecnológico en la periferia. Como se mostró en el caso del subsistema térmico y en la optimización de la plataforma, la construcción de autonomía requirió no solo de la adquisición de conocimientos, sino de la capacidad de desaprender lógicas, diseños y procedimientos transferidos que respondían a intereses y contextos ajenos. Esta agencia cognitiva, ejercida por los equipos técnicos locales para reevaluar y resignificar el conocimiento externo, es un componente central de las trayectorias situadas y conflictivas que caracterizan el desarrollo tecnológico en contextos de dependencia. En consecuencia, este trabajo aboga por desplazar marcos analítico-normativos universalistas y sustituirlos por enfoques relacionales y multidimensionales, anclados en la tradición CTS latinoamericana.

Frente a los límites de modelos lineales como la Escalera Tecnológica Espacial, este artículo propone las bases de un enfoque alternativo para el estudio de trayectorias tecnológicas en la periferia, se puede caracterizar como un “enfoque de reconfiguración estratégica de capacidades”. Este marco, más sensible a la historicidad y especificidad de los contextos periféricos, debe reconocer: 1- la centralidad de la agencia estatal en la articulación política de capacidades dispersas; 2- el carácter contingente y disputado de la autonomía tecnológica, que se negocia en cada decisión sobre qué desarrollar localmente y qué adquirir externamente; y 3- la necesidad de proteger los procesos de aprendizaje intensivo —incluyendo sus dimensiones reflexivas y de “desaprendizaje”— a lo largo del tiempo, más allá de la volatilidad de los ciclos políticos y económicos.

La experiencia argentina no es, ni lo pretende, un modelo a copiar, pero sí una prueba potente de que son posibles trayectorias alternativas. Fenómenos análogos en Brasil, Turquía o Egipto, donde capacidades forjadas en otros sectores de complejidad — nuclear, radar, de defensa— se reorientaron hacia lo espacial, sugieren un patrón más

amplio: la flexibilidad tecno-productiva y la capacidad de gestionar proyectos complejos pueden constituir una ventaja estratégica para los países periféricos, siempre que existan políticas públicas con la voluntad y la inteligencia para movilizarlas. El desafío para la comunidad académica y los *policy makers* en la región es, precisamente, desarrollar los marcos sensibles que puedan narrar, entender y potenciar estas trayectorias singulares, sin someterlas al dictado de modelos normativos que históricamente sirvieron para legitimar la desigualdad tecnológica global.

Financiamiento

Este trabajo conjunto fue posibilitado por una beca doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y los fondos PICT de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica: PICT 2017-3176, “Tecnologías conocimiento-intensivas en Argentina. Análisis socio-técnico de experiencias locales de investigación y desarrollo: el caso INVAP-ARSAT para la explotación de la órbita geoestacionaria y las bandas de frecuencia (2004-2017)”;

PICT-2021-GRF-TII-00076, “Tecnologías conocimiento-intensivas en Argentina. Análisis socio-técnico de experiencias locales de investigación y desarrollo en los sectores nuclear, aeroespacial y electrónica de consumo”.

Bibliografía

Adler, Emanuel (1987). *The power of ideology. The quest for technological autonomy in Argentina and Brazil*. Berkeley: University of California Press.

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

Albornoz, Mario & Gordon, Ariel (2011). *La política de ciencia y tecnología en Argentina desde la recuperación de la democracia (1983-2009)*. En Mario Albornoz & Jesús Sebastián (Eds.), *Trayectoria de las políticas científicas y universitarias de Argentina y España*. Madrid: CSIC.

Alvez Taylor, Lourdes (2025). *Capacidades estatales, apuntes desde la periferia: Aportes y limitaciones de las capacidades financieras para el estudio de instituciones estratégicas: la Comisión Nacional de Energía Atómica (2006-2022)*. *Revista Iberoamericana De Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 20(59), 123–153. Recuperado de: <https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-695>.

Arrow, Kenneth (1962). *The Economic Implications of Learning by Doing*. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/2295952>.

Arocena, Rodrigo & Sutz, Judith (2003). *Innovación y desarrollo en el mundo global: una propuesta desde el Sur*. Madrid: Ediciones Akal.

Azpiazu, Daniel & Schorr, Martín (2010). *Hecho en Argentina. Industria y economía, 1976-2007*. Buenos Aires: Siglo XXI editores.

Barcelona, Eduardo & Villalonga, Julio (1992). *Relaciones carnales: la verdadera historia de la construcción y destrucción del misil Cóndor II*. California: Editorial Planeta.

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

Blinder, Daniel (2018). Geopolítica y recursos naturales espaciales. PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad, 9, 1-18. Recuperado de: <https://www.aacademica.org/daniel.blinder/28.pdf>.

Bloor, David (1976). *Conocimiento e imágenes sociales*. Londres: The University of Chicago Press.

Corigliano, Francisco (2003). La dimensión bilateral de las relaciones entre Argentina y Estados Unidos durante la década de 1990: el ingreso al paradigma de “relaciones especiales”. En Carlos Escudé (Ed.), *Historia general de las relaciones exteriores de la República Argentina. Las “relaciones carnales”: los vínculos políticos con las grandes potencias, 1989-2000*. Tomo XV. Buenos Aires: Grupo Editor.

De Alto, Pedro (2013). *Autonomía Tecnológica. La audacia de la División Electrónica de FATE*. Buenos Aires: Ediciones CICCUS.

De León, Pablo (2018). *Historia de la Actividad Espacial en Argentina*. Carapachay: Lenguaje Claro.

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

Furtado, Celso (1964). *Desarrollo y subdesarrollo*. Buenos Aires: EUDEBA.

García Linera, Álvaro (2010). El Estado en transición. Bloque de poder y bifurcación. En Álvaro García Linera et al. (Eds.), *El Estado. Campo de lucha*. La Paz: Muela del Diablo Editores.

Hall, Thomas & Chase-Dunn, Christopher (2018). *Global Social Change in the Long Run*. En Christopher Chase-Dunn & Salvatore Babones (Eds.), *Global Social Change. Historical and Comparative Perspectives*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

Herrera, Amílcar (1971). *Ciencia y política en América Latina*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Hurtado de Mendoza, Diego (2014). *El sueño de la Argentina Atómica: Política, tecnología nuclear y desarrollo nacional (1945–2006)*. Buenos Aires: Edhasa.

Katz, Jorge (1978). *Cambio tecnológico, desarrollo económico y las relaciones intra y extra regionales de la América Latina*, Monografía de trabajo n° 30. Programa BID-CEPAL sobre Investigación en Temas de Ciencia y Tecnología.

Lall, Sanjaya (1992). *Technological Capabilities and Industrialization*. *Desarrollo mundial*, 20(2), 165-186.

Lalouf, Alberto (2005). *Construcción y deconstrucción de un “caza nacional”*. Análisis socio-técnico del diseño y producción de los aviones Pulqui I y II (Argentina 1946-1960). [Tesis de maestría]. Bernal: UNQ.

López, Andrés, Pascuini, Pablo & Ramos, Adrián (2018). Climbing the Space Technology Ladder in the South: the Case of Argentina, *Space Policy*, 46, 53-63. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/87389/CONICET_Digital_Nro.2df05f0ced40-45bf-a6d8-6875f041988a_H.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Lugones, Manuel & Vera, Nevía (2024). Los programas nucleoelectrónicos de Argentina, Brasil y México. Un estudio comparativo de estrategias de desarrollo tecnológico. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 19(57), 79-104. DOI: <https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-349>.

Lundvall, Bengt-Ake (1985). *Product Innovation and User-Producer Interaction*. Aalborg: Aalborg University Press.

Oszlack, Oscar & O'Donnell, Guillermo (1995). Estado y políticas estatales en América Latina: hacia una estrategia de investigación. *Redes*, 2(4), 99-128. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90711285004>.

Picabea, Facundo (2022). Aircraft without wings: local design and serial production of utilitarian vehicles in Argentina (1952-1955). *History and Technology*, 38(4), 344-365. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07341512.2023.2196791>.

Rapoport, Mario (2016). La política exterior Argentina: conflictos internos y externos, 1966-2011. En Mario Rapoport (Ed.), *Historia oral de la política exterior argentina (1966-2016)*. Buenos Aires: Editorial Octubre.

Rosemberg, Nathan (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Rostow, Walt Whitman (1960). *The Stages of Economic Growth: A Non-Communist Manifesto*. Cambridge: Cambridge University Press.

Rus, Guillermo & Bianchi, Matías (2016). *El futuro llegó: Plan Satelital Geoestacionario Argentino, 2015–2035*. Desarrollo de la industria satelital, Buenos Aires: Kaband.

Sábato, Jorge & Mackenzie, Michael (1982). *La producción de tecnología autónoma o transnacional*. México: Editorial Nueva Imagen.

Seijo, Gustavo & Cantero, Héctor (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.

Stake, Robert (2015). Estudios de casos cualitativos. En Norman Denzin & Yvonna Lincoln (Comps.), *Métodos de recolección y análisis de datos*. Manual de investigación cualitativa. Buenos Aires: Gedisa.

Thomas, Hernán, Versino, Mariana & Lalouf, Alberto (2008). La producción de tecnología nuclear en Argentina: el caso de la empresa INVAP. *Desarrollo Económico*, 47(188), 543–575.

Versino, Mariana & Russo, Cintia (2010). Estado, Tecnología y Territorio: el desarrollo de bienes complejos en países periféricos. *Revista de Estudios Regionales*, 6, 283-302. Recuperado de:

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/57277/Documento_completo_.pdf?sequence=1.

Venturini, Karen & Verbano, Chiara (2014). A systematic review of the Space technology transfer literature. Research synthesis and emerging gaps. Space Policy, 30(2), 98-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2014.04.003>.

Wood, Danielle & Weigel, Annalisa (2012). Charting the evolution of satellite programs in developing countries The Space Technology Ladder, Space Policy, 28(1), 15-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2011.11.001>.

Yin, Robert (1994). Case Study Research: Design and Methods. Applied Social Research Methods. California: SAGE Publications.

Zelnio, Ryan (2007). Determinando los efectos de la regulación ITAR en el sector comercial de fabricación espacial. Washington: Universidad George Mason.

Fuentes documentales

Argentina. (2006). Ley 26.092. Creación de ARSAT S.A. Boletín Oficial de la República Argentina, 27 de abril de 2006. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26092-115886>

Argentina. Poder Ejecutivo Nacional. (2007). Decreto 626/2007. Boletín Oficial de la República Argentina, 30 de mayo de 2007. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-626-2007-128626>

Argentina. Poder Ejecutivo Nacional. (2007). Decreto 2.076/1994. Boletín Oficial de la República Argentina, 1 de diciembre de 1994. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/14118>

Argentina. Poder Ejecutivo Nacional. (2007). Decreto 995/1991. Boletín Oficial de la República Argentina, 3 de junio de 1991. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-995-1991-6295/texto>

Argentina. Secretaría de Comunicaciones. (1993). Resolución SC 188/04. Boletín Oficial de la República Argentina, 18 de agosto de 2004. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-188-2004-97569>

Argentina. Secretaría de Comunicaciones. (1993). Resolución SC 2.593/98. Boletín Oficial de la República Argentina, 27 de noviembre de 1998. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-2593-1998-54656>

ARSAT S.A. Informe anual para el ejercicio fiscal 2009 [Informe interno].

Cámara de Diputados Argentina. Orden del Día 2759, 21 de diciembre de 2001. Recuperado de: https://www2.hcdn.gob.ar/secparl/dcomisiones/s_od/ordenes-del-dia.html

Ministerio de Defensa, B. González. (1991). Message to the Country from the Defence Minister. En Domínguez, N. Satélites. Más allá de la tecnología y de la guerra (Vol. II). Buenos Aires: Instituto de Publicaciones Navales del Centro Naval.

Ministerio de Economía, (2024). Informes de cadena de valor. Servicios Satelitales. 9(77). Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ficha_sectorial_servicios_conectividad_satelital.pdf?

Nahuelsat S.A., Estados financieros para el año cerrado el 31 de diciembre de 2001, [Informe financiero interno].

Nahuelsat S.A., Estados financieros para el año cerrado el 31 de diciembre de 2002, [Informe financiero interno].

Organización de Estados Iberoamericanos (OEI), Diagnóstico de la ciencia especial en Iberoamérica. Madrid, 2024. Recuperado de: <https://lectura.oei.org.ar/wp-content/uploads/2024/12/Diagnostico-sobre-la-ciencia-espacial-en-Iberoamerica-2024.pdf>

Entrevistas realizadas

Nº	Puesto	Fecha	Empresa/ Institución
1	Vicepresidente	10/8/2018	ARSAT
2	Jefe de Proyecto ARSAT-1	9/1/2019	ARSAT
3	Jefe de Calidad	23/2/2019	ARSAT
4	Jefe de Proyecto ARSAT-1	26/2/2019	ARSAT
5	Asesor	15/4/2019	Secretaría de Comunicaciones
6	Gerente General	26/4/2019	INVAP
7	Presidente	24/4/2019	ARSAT
8	Jefe de Proyecto ARSAT-1	26/4/2019	INVAP
9	Ingeniera de sistemas/térmica	24/4/2019	INVAP
10	Jefe de Proyecto ARSAT-2	25/4/2019	INVAP
11	Jefe de Operaciones	23/6/2019	ARSAT
12	Asesor	27/8/2019	Secretaría de Comunicaciones
13	Jefe de Proyecto ARSAT-1	29/8/2019	ARSAT
14	Jefe de Proyecto ARSAT-2	18/10/2019	ARSAT
15	Gerente General	22/10/2019	INVAP
16	Jefe de Proyecto ARSAT-2	22/10/2019	INVAP
17	Ingeniero de Sistemas	22/10/2019	INVAP
18	Gerente del Área Espacial	23/10/2019	INVAP
19	Gerente del Área Espacial	23/10/2019	INVAP
20	Técnico óptico	23/10/2019	INVAP
21	Ingeniero Mecánico	23/10/2019	INVAP
22	Ingeniero Mecánico	23/10/2019	INVAP
23	Ingeniero Control de Actitud	23/10/2019	INVAP
24	Jefe de Aseguramiento de Producto	23/10/2019	INVAP
25	Ingeniero	12/11/2019	INVAP
26	Ministro de Comunicaciones	23/12/2019	Secretaría de Comunicaciones

27	Jefe de Calidad	2/3/2020	ARSAT
28	Gerente de Desarrollo de Negocios	8/5/2020	ARSAT
29	Ingeniero Control de Actitud	17/6/2021	ARSAT
30	Jefe de Proyecto ARSAT-1	1/9/2020	ARSAT
31	Jefe de Proyecto ARSAT-2	22/9/2020	ARSAT
32	Propietario de M14	24/10/2021	M14
33	Propietario de Invenio Ingeniería	24/10/2021	Invenio Ingeniería
34	Jefe de Proyecto	24/10/2021	Invenio Ingeniería
35	Ingeniero Control de Actitud	14/10/2022	ARSAT
36	Director	21/4/2023	CEATSA
37	Jefe de Proyecto ARSAT-2	5/7/2023	INVAP
38	Director Departamento Energía Solar	17/5/2023	CNEA
39	Ingeniero	17/5/2023	CNEA
40	Jefe de Aseguramiento de Producto	17/7/2023	INVAP
41	Presidente	18/7/2023	ARSAT
42	Jefe de Operaciones	10/8/2023	ARSAT
43	Jefe de Proyecto ARSAT-2	28/11/2023	INVAP
44	Responsable de cadena de suministros	28/11/2023	INVAP