

Generación de capacidades en empresas tecnológicas del sector espacial argentino

Resumen: El desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas es una necesidad estructural en Argentina y otros países de la región. La generación de ventajas competitivas, la incorporación de valor agregado, la intensificación del contenido cognitivo de productos y procesos son cuestiones clave tanto para concebir un cambio del perfil exportador del país como para generar una mejora estructural de las condiciones de vida de la población. En este trabajo se analiza la generación de equipamiento e infraestructura para la fabricación de bienes intensivos en conocimientos tomando como caso el Centro de Ensayos de Alta Tecnología (CEATSA), vinculado con la producción de los satélites de la empresa estatal ARSAT. Se discuten, entre otros aspectos, cuáles fueron las condiciones sistémicas que posibilitaron el diseño y la fabricación de procesos y artefactos para estas tecnologías y las capacidades organizacionales que debieron desarrollarse.

Palabras clave: Capacidades industrializantes - Sector aeroespacial - INVAP

Generation of capabilities in technological companies of the Argentinian space sector

Abstract: The development of knowledge-intensive technologies is a structural need in Argentina and other countries in the region. The generation of competitive advantages, the incorporation of added value, the intensification of the cognitive content of products and processes are key issues both to conceive a change in the export profile of the country and to generate a structural improvement in the living conditions of the population. This paper analyzes the generation of equipment and infrastructure for the manufacture of knowledge-intensive goods, taking as a case the High Technology Test Center (CEATSA), linked to the production of satellites of the state-owned company ARSAT. We discuss, among other aspects, the systemic conditions that made possible the design and manufacture of processes and artifacts for these technologies and the organizational capabilities that had to be developed.

Keywords: Industrializing capabilities - Aerospace sector - INVAP

Desenvolvimento de capacidades em empresas de tecnologia no setor espacial argentino

Resumo: O desenvolvimento de tecnologias intensivas em conhecimento é uma necessidade estrutural na Argentina e em outros países da região. A geração de vantagens competitivas, a incorporação de valor agregado e a intensificação do conteúdo cognitivo de produtos e processos são questões-chave tanto para conceber uma mudança no perfil de exportação do país quanto para gerar uma melhoria estrutural nas condições de vida da população. Este artigo analisa a geração de equipamentos e infraestrutura para a fabricação de bens intensivos em conhecimento, tomando como estudo de caso o Centro de Testes de Alta Tecnologia (CEATSA), ligado à produção de satélites para a empresa estatal ARSAT. Discute, entre outros aspectos, as condições sistêmicas que possibilitaram o projeto e a fabricação de processos e artefatos para essas tecnologias e as capacidades organizacionais que tiveram de ser desenvolvidas

Palavras-chave: Capacidades industriais - Setor aeroespacial - INVAP

Facundo Picabea

Doctor en Ciencias Sociales
Instituto de Estudios Sociales de la
Ciencia y la Tecnología (Universidad
Nacional de Quilmes-CONICET)
fpicabea@conicet.gov.ar

Yamila Noely Cáceres

Magíster en Ciencia, Tecnología
y Sociedad
Instituto de Estudios Sociales
de la Ciencia y la Tecnología
(Universidad Nacional de
Quilmes-CONICET)
ycaceres@conicet.gov.ar

Año 6 N° 11 Noviembre 2023

Fecha de recibido: 26/06/23

Fecha de aprobado: 27/09/2023

<https://doi.org/10.24215/26183188e106>

<https://revistas.unlp.edu.ar/CTyP>

ISSN 2618-3188



Esta obra está bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_AR



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Facundo Picabea

Doctor en Ciencias Sociales
Instituto de Estudios Sociales
de la Ciencia y la Tecnología
(Universidad Nacional de
Quilmes-CONICET)
fpicabea@conicet.gov.ar



Yamila Noely Cáceres

Magíster en Ciencia,
Tecnología y Sociedad
Instituto de Estudios Sociales
de la Ciencia y la Tecnología
(Universidad Nacional de
Quilmes-CONICET)
ycaceres@conicet.gov.ar

Generación de capacidades en empresas tecnológicas del sector espacial argentino

Resumen: El desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas es una necesidad estructural en Argentina y otros países de la región. La generación de ventajas competitivas, la incorporación de valor agregado, la intensificación del contenido cognitivo de productos y procesos son cuestiones clave tanto para concebir un cambio del perfil exportador del país como para generar una mejora estructural de las condiciones de vida de la población. En este trabajo se analiza la generación de equipamiento e infraestructura para la fabricación de bienes intensivos en conocimientos tomando como caso el Centro de Ensayos de Alta Tecnología (CEATSA), vinculado con la producción de los satélites de la empresa estatal ARSAT. Se discuten, entre otros aspectos, cuáles fueron las condiciones sistémicas que posibilitaron el diseño y la fabricación de procesos y artefactos para estas tecnologías y las capacidades organizacionales que debieron desarrollarse.

Palabras clave: Capacidades industrializantes – Sector aeroespacial – INVAP

Introducción

Argentina tiene una vasta trayectoria en el diseño y fabricación de bienes basados en tecnologías conocimiento-intensivas. En 1927, la creación de la Fábrica Militar de Aviones marcó el inicio de un camino, siempre sinuoso, que le permitió como país semiperiférico ubicarse entre aquellos con capacidad para desarrollar de forma endógena algunas tecnologías de uso dual. Primero fue el diseño y fabricación de aviones y automotores; luego, aviones a reacción, vectores de lanzamiento, reactores nucleares; y, en las últimas décadas, radares y satélites artificiales.

Desde hace dos décadas, el campo de los estudios en ciencia, tecnología y sociedad (CTS) en Argentina aborda la complejidad del desarrollo de tecnologías estratégicas desde diferentes perspectivas. Lalouf (2005) y Picabea y Thomas (2015) analizaron la producción de aviones y utilitarios desde un abordaje que supera

las visiones deterministas y lineales al visibilizar el carácter social de la tecnología y el carácter tecnológico de lo social. Thomas, Versino y Lalouf (2008) usaron dicho marco para analizar a INVAP. Desde el análisis de políticas, Quiroga (2018) y Lugones (2020) analizaron el desarrollo nuclear y de radares en Argentina, respectivamente; y Hurtado (2014), la política y tecnología nuclear. Spivak (2015) complementó tales estudios al introducir conceptos desde la antropología.

En referencia al sector aeroespacial pueden encontrarse varios trabajos. Blinder (2009) y Vera (2022) centraron su atención en cómo las relaciones internacionales condicionaron el dominio de tecnologías sensibles en áreas periféricas; Seijo y Cantero (2012) analizaron las capacidades genéricas de INVAP que permitieron que una empresa nuclear desarrolle proyectos satelitales; López, Pascuini y Ramos (2017) exploraron la economía del espacio en Argentina. Finalmente, Cáceres (2022a; 2022b) analizó las políticas públicas sectoriales y capacidades que permitieron el desarrollo de satélites de comunicaciones.

Una dimensión poco abordada hasta el presente es la generación de equipamiento e infraestructura para la fabricación de bienes intensivos en conocimientos. Las tecnologías conocimiento-intensivas son aquellos productos de la innovación y el desarrollo (artefactos, procesos o conocimientos) asociados a conocimientos científicos. En muchos casos, estas tecnologías proceden directamente de unidades de I+D de institutos o centros universitarios, o de divisiones especializadas del sector privado. A diferencia de sectores productivos intensivos en

mano de obra o elaboración de materias primas, en campos como el biotecnológico, el aeroespacial o el nuclear se generan productos con un alto valor agregado de conocimiento específico y validado académicamente.

En el marco de los procesos de diseño, integración y ensayos de los Satélites de Aplicaciones Científicas (SAC) para la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), y de los de comunicaciones para la empresa pública ARSAT S.A., la empresa Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado (INVAP S.E.) necesitó diseñar, implementar y evaluar numerosos procesos, artefactos e instalaciones que permitieran dar soporte al desarrollo de tales proyectos. Algunos ejemplos son la Sala Limpia de Integración Satelital, el Centro de Ensayos de Alta Tecnología (CEATSA), Laboratorios de Óptica, equipamientos mecánicos y eléctricos de soporte en tierra, como así también equipamiento específico para el desarrollo de tareas de alta complejidad, cuyo *know how* no es de fácil acceso.

Este trabajo tiene como objetivo analizar el proceso de desarrollo de CEATSA en el marco de la producción de los satélites ARSAT. Se propone responder: ¿cómo se diseñan los procesos y artefactos para fabricar bienes complejos? ¿Cómo se establecen los estándares y requerimientos? ¿Cómo es el proceso de toma de decisiones para establecer qué bienes y procesos pueden diseñarse y desarrollarse *ad hoc* y cuáles no? ¿Cuáles fueron las condiciones sistémicas que posibilitaron el diseño y la fabricación de procesos y artefactos para producir tecnologías intensivas en conocimiento en Argentina?

Innovación y desarrollo de equipos para la industria satelital en INVAP

En 1983, la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE, entidad previa a CONAE) y el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE) especificaron y presentaron a la NASA un satélite para el estudio del Sol, denominado SAC-1 (H. Loffler, 23 de octubre de 2019). Cuatro años después, una delegación norteamericana visitó Buenos Aires con el objetivo de afianzar los vínculos de cooperación con la CNIE. Allí se decidió que la NASA proveería los servicios de lanzamiento y la CNIE construiría la plataforma satelital (Sierra, 1989).

La CNIE y el IAFE carecían de los recursos para comenzar la fabricación de la plataforma del satélite, por ello, junto a ingenieros de la NASA, decidieron visitar las instalaciones de INVAP en San Carlos de Bariloche, Río Negro. INVAP es una empresa del Estado que inició sus actividades en 1976, dedicada a la fabricación de sistemas complejos de alta tecnología. En sus inicios, la empresa estuvo estrechamente vinculada a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), por lo que originalmente sus actividades se centraron en la producción de reactores nucleares de investigación y radioisótopos (Versino, 2006). Conrado Varotto, gerente general de INVAP, ofreció al equipo de la CNIE hacerse cargo de la fabricación del satélite en base a los conocimientos acumulados en la gestión de proyectos complejos.

La NASA dudaba de las capacidades de INVAP debido a la inadecuación de sus instalaciones para la fabricación y ensamble del artefacto, por lo que se propuso la construcción de una sala limpia, adecuada para construir e integrar el sa-

télite (H. Loffler, 23 de octubre de 2019). Si bien el SAC-1 no se materializó, la sala limpia fue el espacio en que se diseñaron y construyeron las primeras misiones para la CONAE.

A medida que INVAP fue ampliando el área aeroespacial dentro de la empresa y generando nuevos proyectos, sus actividades, y por ende el requerimiento de infraestructura y equipos, fueron cada vez mayores y más específicos. El proyecto SAC-D/Aquarius y el inicio de las misiones ARSAT favorecieron la inversión en una sala de integración y ensayos de 500 m² certificada por ISO 8, capaz de albergar múltiples satélites, salas de apoyo ISO 8, un laboratorio de electro-óptica, y siete plantas para la producción de compuestos, tratamientos superficiales, mecánica de alta precisión, cableado, electrónica, mantas térmicas y sistemas térmicos y de propulsión (INVAP, s/f). En cuanto a los equipos, INVAP diseñó y fabricó numerosas herramientas *ad hoc*.

La creación del Centro de Alta Tecnología

Uno de los eslabones clave de la cadena de valor satelital consiste en ensayar los artefactos (sistema y subsistemas) sometidos a las condiciones térmicas, vibratorias, de vacío y radiación características del espacio exterior. En el inicio de la actividad satelital, Argentina no contaba con la infraestructura necesaria para llevar adelante los ensayos a nivel del sistema, por lo que las misiones SAC fueron trasladadas al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) en Brasil o al Centro Goddard de la NASA. Las interacciones con el INPE permitieron a los

ingenieros de INVAP entender cómo funcionaba una estación de ensayos, acumular conocimientos prácticos a partir de la resolución de algunos problemas, y validar y calificar la tecnología desarrollada. Por su parte, al INPE le permitió incrementar sus conocimientos a partir del uso del equipamiento y establecer vínculos de cooperación internacional (L. Genovese, 23 de octubre de 2019). Para Brasil, el uso del Laboratorio para la prueba de satélites extranjeros permitió no solo el reconocimiento del sector, sino un ingreso importante de divisas. Por otra parte, las estadías en EE.UU. permitieron ampliar los conocimientos generados mediante el uso de equipos y la práctica en los ensayos. Ello favoreció que los ingenieros locales identificaran nociones vinculadas al diseño de instalaciones para ensayos. Mientras algunas estaciones tenían un diseño en el que se determinaba un uso específico para cada uno de los equipos, otras se caracterizaban por la multifuncionalidad de los espacios (V. Campenni, 22 de octubre de 2019).

Si bien INVAP fue incorporando equipamientos para ensayar los equipos componentes, Argentina en general e INVAP en particular carecían de las instalaciones apropiadas para completar el dominio sobre la cadena de valor satelital, puesto que tales instrumentos resultaban insuficientes para ensayar, calificar y validar la tecnología a nivel sistema. A la vez, los satélites ARSAT no podían ensayarse de forma completa en Brasil. El INPE no contaba con los equipos necesarios para ensayar un satélite de telecomunicaciones, y además carecía de un *shaker* capaz de ensayar una plataforma de tres toneladas de masa. Ello llevó a que INVAP y ARSAT evaluaran el traslado de los distintos prototipos a EE.UU. o Francia, con el consiguiente aumento de los riesgos, los retrasos en el cronograma, el movimiento de personal y el aumento de los costos al proyecto (G. Benito, 21 de abril de 2023).

Los ensayos no son sólo de calificación sino de aceptación. Para todos los ensayos vos

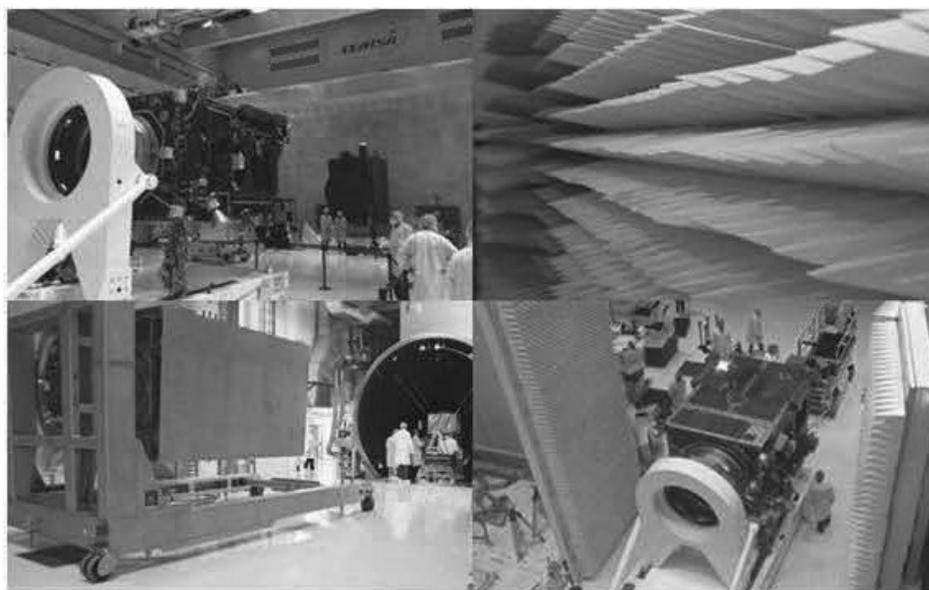


Figura 1: Ensayos y mediciones para controlar la calidad de productos y sistemas tecnológicos complejos. Fuente: INVAP, 2020.

necesitas verificar que las cosas van a soportar las condiciones del espacio ¿Qué tipos de ensayos tenés que hacer? De termo-vacío, al satélite no le podés poner un ventilador porque no hay aire. Va a estar sometido a variaciones muy grandes de temperatura entre el día y la noche. Varios tipos de vibraciones, aleatorias, sinusoidales, shock [...] Todos esos tipos de ensayos no solamente de calificación sino de aceptación. (C. Tisot, 22 de octubre de 2019)

Para dinamizar el proceso de traslado de los distintos prototipos a Europa, INVAP solicitó al Ministerio de Planificación Federal -accionista mayoritario de ARSAT- que colaborara en la agilización en los trámites aduaneros. INVAP temía que la apertura del contenedor del satélite incrementara los riesgos por contaminación y la ejecución del despacho en la Aduana retrasara el período estimado para el lanzamiento. Dado que ello afectaba no sólo los intereses de las empresas participantes en el proyecto, sino también los del gobierno nacional, el Ministerio de Planificación decidió adoptar una solución que se adecuaba tanto a los requerimientos del ARSAT-1 como a un proyecto de fomento industrial autónomo, analizando la posibilidad de construir una estación de ensayos en el país.

Nosotros al principio teníamos capacidad de hacer cosas chicas porque teníamos una cámara de termo-vacío chiquitita, un *shaker* chiquito, pero ya al nivel del satélite teníamos que ir a otro lado. Algunos los probamos en Brasil, otros los probamos en EE.UU. En el caso de ARSAT se nos complicaba por el tamaño del satélite, por los niveles de radiación a los que iba a estar expuesto ni siquiera

se podía en Brasil. Entonces teníamos que ir a EE.UU. o Europa. [...] Ahí es donde dijeron “¿cuánto sale hacer los ensayos?” Cuando vieron lo que salía [se pensó] “conviene hacer una sala de ensayos” (C. Tisot, 22 de octubre de 2019).

En 2009, ARSAT inició un estudio de factibilidad para la construcción de la Facilidad Argentina de Ensayos Satelitales (FAES). La presentación de los resultados al Ministerio de Planificación Federal, junto con los riesgos y costos que demandaba el traslado del satélite a Europa, así como las potencialidades que ofrecía la creación local de un centro de ensayos, fueron argumentos suficientes para conseguir el alineamiento de intereses de los distintos actores. Al año siguiente ARSAT firmó un Convenio Marco con INVAP para la creación de una nueva empresa del sector: CEATSA. En dicho convenio se estableció que INVAP daría la estructura edilicia y las instalaciones fijas de servicios auxiliares en calidad de comodato, mientras ARSAT, también en comodato, proveería el equipamiento específico para la ejecución de los ensayos (ARSAT, 2009). ARSAT aportó el 89,47% de las acciones de CEATSA, e INVAP el 10,53% restante. El objetivo de CEATSA era:

Llevar a cabo ensayos para determinar las características y calidad y/o realizar la calificación de satélites, sus subsistemas, cargas útiles y equipos y productos industriales de todo tipo y de diversas clases de materiales y partes, empleados en la industria aeroespacial, eléctrica, automotriz, metalmecánica, electrónica y demás elementos, equipos y materiales conexos o vinculados a estas, y otorgar los pertinentes certificados, como así

también todo tipo de servicios periféricos, conexos y complementarios a los anteriores (ARSAT, 2011).

Las necesidades asociadas a la reducción de los tiempos y riesgos del proyecto ARSAT-1, así como la visión estratégica de un pequeño grupo de funcionarios nacionales, favorecieron la construcción de una planta de ensayos ambientales para satélites en Argentina al lado de la sala de integración que tenía construida INVAP. Ello permitió la adquisición de nuevas capacidades y sinergias entre las fases de diseño, fabricación, integración y ensayos, al tiempo que incrementaban los niveles de autonomía durante la gestión de los proyectos satelitales. Además, la visión de algunos actores interesados en promover el desarrollo industrial, pertenecientes tanto a las empresas del Estado como a la esfera gubernamental, consideraron que CEATSA, además de completar el ciclo satelital, podría comercializar sus servicios a otras empresas o ramas de actividad.

A finales de 2010 se tomaron dos decisiones respecto a la configuración de CEATSA. INVAP, que estaría a cargo del diseño de la planta, siguió el modelo visto en Brasil y EE.UU., es decir una facilidad con espacios de uso múltiple para la optimización de las instalaciones. Por otra parte, ante el escaso tiempo disponible, se decidió que la importación de tecnología era la estrategia más adecuada (V. Campenni, 22 de octubre de 2019). Al año siguiente se visitaron las empresas proveedoras de los distintos equipamientos con el fin de comprar los artefactos que se ajustaban a las necesidades locales.

Una facilidad de ensayos está compuesta por cinco equipamientos primarios: la cámara de

termo-vacío (un laboratorio totalmente hermético que simula las condiciones del espacio exterior), el *shaker* o sistema de medición de las propiedades de masa (tales como el establecimiento del centro de gravedad y momento de inercia, los cuales son necesarios tanto para el acoplamiento con el lanzador, la mantención de la trayectoria en órbita y las maniobras de posicionamiento y mantenimiento en el espacio), el subsistema de radiofrecuencia formado por la cámara anecoica y el *scanner* que mide la performance de la antena de comunicaciones del satélite respecto a la compatibilidad electromagnética (ausencia de interferencias entre las ondas de radio), así como la forma y apuntamiento del haz en que la antena emite y recibe señales de acuerdo a la pisada preestablecida, y el sistema de ensayo acústico en el cual se simulan las vibraciones sonoras también generadas durante el lanzamiento.

Para la especificación de los equipos primarios fueron claves los conocimientos que habían adquirido los ingenieros de INVAP tanto en los ensayos a nivel componentes que habían realizado en sus propias instalaciones, como en los ensayos realizados en Brasil o EE.UU.

La inversión más grande en términos de costos y tiempo que debieron afrontar los ingenieros de CEATSA fue la elección de la cámara de termo-vacío y el *scanner*. De acuerdo a las especificaciones de cada uno de los equipos, se siguieron estrategias diversas. Para la cámara de termo-vacío, los ingenieros de INVAP, en tanto responsables de la especificación de los equipos, visitaron una empresa norteamericana proveedora de dicha tecnología, la cual había construido y entregado una cámara de forma

reciente a otra compañía. Cuando los ingenieros locales accedieron a las prestaciones de dicho artefacto, consideraron que se ajustaba a los requerimientos definidos para su instalación en Bariloche. De acuerdo a ello, establecieron vínculos con la empresa que había adquirido la tecnología, propietaria del diseño de ingeniería, la cual accedió a que la compañía proveedora realice bajo el mismo diseño una nueva cámara para CEATSA (V. Campenni, 22 de octubre de 2019). La articulación de estos factores fue clave, puesto que no sólo se consiguió una cámara de termo-vacío adecuada a las condiciones de CEATSA, sino que se redujeron los costos y el tiempo de desarrollo que insume el diseño y fabricación de un bien complejo.

Por su parte, el *scanner* importado fue el más grande que la empresa proveedora había fabricado hasta entonces. Si bien ello resultaba una exigencia en términos tecnológicos, la decisión se adoptó de acuerdo a la satisfacción de las especificaciones realizadas. Dadas las capacidades de la empresa proveedora, el desarrollo del *scanner* no generó demoras en el cronograma (G. Benito, 21 de abril de 2023).

A fines de 2012, se había concluido la obra civil del edificio y estaban instalados los equipos principales, y operativos los sistemas auxiliares (el sistema de filtrado de aire, la energía segregada, el sistema de climatización y el control de incendios). Ello permitió que se realizaran las pruebas y los ensayos de aceptación con los proveedores, así como las campañas de calificación de cada uno de los procedimientos requeridos. Dichas campañas consistieron en ensayos sobre los prototipos mediante los procedimientos estabilizados en las facilidades

ambientales (ARSAT, 2013). A la vez que se validaron los procesos, se favoreció la capacitación del personal a cargo.

Tras la calificación de cada uno de los equipamientos primarios de CEATSA y los procedimientos asociados y la acumulación de conocimientos en el manejo de los artefactos, los ingenieros de la compañía emprendieron los ensayos ambientales sobre uno de los prototipos del ARSAT-1, y posteriormente sobre el satélite. En paralelo, CEATSA continuó con la adquisición de equipos secundarios, registrándose un 65% de forma operativa a fines de 2013 (ARSAT, 2012). Entre los equipos secundarios utilizados para los ensayos a nivel componente o subsistemas o para la prueba de maniobras de integración se destacan los teodolitos (instrumentos de medición mecánico-óptico que posibilitan obtener ángulos verticales y horizontales con una precisión elevada), dispositivos de bajo rozamiento para la prueba y ensayos de mecanismos de despliegue (necesarios para la apertura de los paneles solares) equipos de radiofrecuencia y un *shaker* de tamaño reducido, y una cámara de termo-vacío diseñada y fabricada en INVAP.

El aprendizaje como motor del desarrollo tecno-productivo

La decisión político-estratégica del Ministerio de Planificación Federal de construir en Argentina una facilidad de ensayos de alta complejidad fue clave en varios aspectos. En el área satelital, el país incursionó por primera vez en la realización de ensayos ambientales a nivel sistema, con lo que se logró avanzar en el dominio

sobre la totalidad de los eslabones de la cadena de valor satelital, a excepción del lanzamiento. Además de reducir costos, tiempo, y, sobre todo, riesgos asociados al traslado del satélite, favoreció la adquisición de múltiples capacidades tecnológicas. Primero, la ubicación de CEATSA, contigua a la facilidad de integración de INVAP, permitió que un mayor número de personal experto y en formación pudiese participar de forma completa durante las campañas de ensayos, con la consiguiente acumulación de experiencia y aprendizajes generados por el uso de los equipos. Segundo, la disponibilidad de CEATSA favorecía la realización de pruebas de desarrollo, de nuevas técnicas de montaje y ensayos. Tercero, las interacciones entre los distintos grupos que trabajaban en el proyecto aumentaron y tuvieron un efecto sinérgico, dado que la información que se registraba durante los ensayos del modelo estructural y de vuelo retroalimentaba el trabajo de diseño y fabricación, y viceversa.

Desde hace más de medio siglo, los estudios económicos sobre curvas de aprendizaje en la producción industrial de bienes conocimiento-intensivos demostraron la importancia de la experiencia para la disminución de los costos de producción (Colman Sercovich, 1978). Algo similar ocurre, en términos relativos, con los costos de diseño, puesto que la experiencia institucional permite mejorar los procesos necesarios. Aun cuando se tratare de equipos de reciente formación, la trayectoria industrial en su conjunto afecta positivamente a los nuevos proyectos, transmitiendo parte de los aprendizajes estabilizados a partir de experiencias previas, ya sea en alguno de los recursos hu-

manos, planos o incluso en los requerimientos.

El análisis de otros casos en Argentina (industria nuclear o microelectrónica) permite afirmar que, en la medida en que se incrementan las experiencias y los procesos de resignificación tecnológica, la curva de aprendizaje alcanza una pendiente mayor, afectando no sólo los costos iniciales a nivel del artefacto, sino sistémicamente aumentando las capacidades nacionales de I+D. De acuerdo con Katz (1978), las capacidades tecnológicas pueden dividirse en ingeniería de producto (diseño de productos, capacidad de interpretación de planos, diversificación de la producción, adquisición de licencias, etc.), e ingeniería de proceso (incorporación de equipos, instalaciones e infraestructura y la organización del proceso productivo, etc.). En INVAP se generaron capacidades tecnológicas tanto de ingenierías de procesos como de producto.

La trayectoria de la empresa confirma una apropiada adecuación de los equipos de trabajo a nuevos y diversos proyectos, con resultados positivos a partir de la resignificación de conocimientos, procesos y artefactos de un área a otra. La migración de profesionales y técnicos de las áreas de cálculo, diseño y fabricación de reactores nucleares a las de diseño, simulación y fabricación de satélites de investigación, así como la reutilización del galpón de la planta piloto de enriquecimiento de uranio de sus laboratorios de Villa Golf para convertirla en una sala limpia para la fabricación de satélites, constituyen sólo algunos de los ejemplos de reutilización de instalaciones y maquinaria y reasignación de sentido de conocimientos de sistemas críticos. Una trayectoria que se inició en el área

nuclear hoy se ha diversificado hacia radarización, satélites, telecomunicaciones y medicina nuclear, entre otras.

Desde la economía de la innovación se entiende al aprendizaje, su variedad y alcance interinstitucional como uno de los procesos más significativos para el desarrollo de un sistema nacional de innovación. Estos aprendizajes, articulados con un conjunto de políticas públicas que los impulsen y vinculen a nivel sistémico, constituyen una condición indispensable para el desarrollo económico y social. Las experiencias de INVAP permiten analizar un conjunto de casos en los que se observan aprendizajes por la práctica (Arrow, 1962): la experiencia en tecnologías críticas en el sector nuclear configuró prácticas que fueron fundamentales para la concepción, diseño y fabricación en el sector aeroespacial. Un experto en sistemas de control y simulación de reactores pasó a ser el experto en simulación y control de actitud de satélites, un experto en modelística de sistemas térmicos de contenedores de material radioactivo pasó a ser el responsable de sistemas de control térmico de satélites, los análisis de seguridad de reactores usan metodologías muy similares a las que se aplican para los análisis de confiabilidad y seguridad de los satélites.

Conclusiones

Sobre la base de este análisis se pueden extraer algunas conclusiones preliminares. En primer lugar, identificar la necesidad de equipos específicos para la fabricación de satélites, así como el análisis de cuáles de estos pueden o deben fabricarse *in house* y cuáles es conve-

niente comprar en el mercado internacional, implica en sí mismo un aprendizaje. El uso de equipamiento nuevo también de por sí implica aprendizajes que aumentan significativamente cuando los equipos se fabrican, puesto que implica una concepción a nivel de ingeniería que el mero uso muchas veces no aporta.

En otro nivel, el trabajo de profesionales y técnicos locales con pares de la NASA y el INPE generó una dinámica de aprendizaje a partir de las propias actividades tecno-productivas que se vio reforzada por la interacción entre profesionales e instituciones. La cooperación establecida facilitó el conocimiento de determinadas tecnologías que eran luego reformuladas en base a criterios propios para ser finalmente revisadas y discutidas de acuerdo a las necesidades y condiciones locales.

De esta forma pueden identificarse, *a priori*, un conjunto de productos y procesos llevados adelante por INVAP que fueron imprescindibles para la fabricación de satélites de observación y de telecomunicaciones. Estos procesos de aprendizaje dejan como resultado un conjunto de equipos e infraestructura que no existían antes de comenzar las actividades y por lo tanto amplían las condiciones para el diseño y fabricación de bienes tecnológicos intensivos en conocimiento.

En cuanto a CEATSA, su construcción permitió dotar a la Argentina de capacidades, equipamientos y servicios de alto valor agregado para la ejecución de ensayos ambientales de tecnologías bajo estrictos estándares internacionales. Esta decisión permitió independizar al país de los centros extranjeros. Al mismo tiempo, dicho proyecto se alineó con los objetivos del

Estado nacional asociados a promover un complejo industrial satelital en el país.

Financiamiento

Este artículo contó con financiamiento de Agencia I+D+i, 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

Arrow, K. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173. <https://doi.org/10.2307/2295952>

ARSAT (2009). *Balance general*. ARSAT S.A.

ARSAT (2011). *Balance general*. ARSAT S.A.

ARSAT (2012). *Memoria*. ARSAT S.A.

ARSAT (2013). *Memoria*. ARSAT S.A.

Blinder, D. (2009). El control de tecnologías duales como poder político-militar. El caso "espacial" argentino. *Question/Cuestión*, 1(24).

Cáceres, Y. (2022a). Dinámicas socio-cognoscitivas en un sector conocimiento-intensivo. Nahuelsat S.A. (1993-2007). *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 33(65), 1-32 <https://doi.org/10.33255/3365/1080>

Cáceres, Y. (2022b). Política y tecnología. Los Satélites de Aplicaciones Científicas (1985-2000). En L. Vaccarezza, M. Di Bello, D. Chiappe y M. E. Fazio (Comps.), *Retratos y problemáticas contemporáneas en el campo de la ciencia, la tecnología y la sociedad* (pp.25-40). Universi-

dad Nacional de Quilmes.

Colman Sercovich, F. (1978). Ingeniería de diseño y cambio técnico endógeno: *Un enfoque microeconómico basado en la experiencia de las industrias química y petroquímicas argentinas* [Monografía de trabajo N°19]. Banco Interamericano de Desarrollo; Comisión Económica para América Latina. <https://hdl.handle.net/11362/9116>

Hurtado, D. (2014). El sueño de la Argentina Atómica. *Política, tecnología nuclear y desarrollo nacional (1945-2006)*. Edhasa.

INVAP (s/f). Capacidades. www.invap.com.ar/areas/espacial/capacidades/

Katz, J. (1978). *Cambio tecnológico, desarrollo económico y las relaciones intra y extra regionales de la América Latina* [Monografía de trabajo N°30]. Banco Interamericano de Desarrollo; Comisión Económica para América Latina. <https://hdl.handle.net/11362/9594>

Lalouf, A. (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 inédita]. Universidad Nacional de Quilmes.

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

Lugones, M. (2020). *Política nuclear y política energética en la Argentina. El Programa Nucleoeléctrico de la CNEA (1965-1985)*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Quilmes. <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/2130>

Picabea, F. y Thomas, H. (2015). *Autonomía tecnológica y Desarrollo Nacional. Historia del diseño y producción del Rastrojero y la moto Puma*. Cara o Ceca.

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

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

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

Spivak, A. (2015). Consensos y disensos sobre el desarrollo nuclear argentino en la última dictadura. En C. Gárgano (Comp.), *Ciencia en dictadura: trayectorias, agendas de investigación y políticas represivas en Argentina* (pp.87-97). INTA Ediciones.

Thomas, H., Versino, M. y Lalouf, A. (2008). La producción de tecnología nuclear en Argentina; el caso de la empresa INVAP. *Desarrollo Económico. Revista de Ciencias Sociales*, 47(188), 543-575.

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

Versino, M. (2006). *Análise sócio-técnica de processos de produção de tecnologias intensivas em conhecimento em países subdesenvolvidos. A trajetória de uma empresa nuclear e espacial argentina (1970-2005)* [Tesis de doctorado inédita]. Universidade Estadual de Campinas.