



TECNOLOGÍAS CONOCIMIENTO INTENSIVAS EN ARGENTINA

Experiencias locales de investigación y desarrollo

Coordinador: **Facundo Picabea**

Yamila Cáceres/ Marina Calamari/ Juan
Cristensen/ Paloma Fidmay/ Santiago Garrido/
Daniela del Carmen Medina/ Emilia Ruggeri/
Guillermo Santos/ Gustavo Seijo/
Florencia Urcelay/ Mariano Venturini



PROESI
PROGRAMA DE
ESTUDIOS SOCIALES
INTERDISCIPLINARIOS



Agencia I+D+i

TECNOLOGÍAS CONOCIMIENTO INTENSIVAS
EN ARGENTINA

TECNOLOGÍAS CONOCIMIENTO INTENSIVAS EN ARGENTINA

EXPERIENCIAS LOCALES DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO

Facundo Picabea (Coordinador)

Yamila Cáceres- Marina Calamari-
Juan Cristensen- Paloma Fidmay-
Santiago Garrido- Daniela del Carmen Medina-
Emilia Ruggeri- Guillermo Santos-
Gustavo Seijo- Florencia Urcelay-
Mariano Venturini



PROESI
PROGRAMA DE
ESTUDIOS SOCIALES
INTERDISCIPLINARIOS



Agencia I+D+i

Tecnologías Conocimiento Intensivas en Argentina. Experiencias locales de Investigación y Desarrollo / Facundo Picabea... et al; Coordinación general de Facundo Picabea. - 1a ed. - Luján: PROESI, Universidad Nacional de Luján 2024.

215 p. ; 23 x 15 cm. Libro digital PDF.

Archivo digital: descarga y online

ISBN 978-631-00-3417-1

1. Tecnologías. 2. Historia Económica Argentina. 3. Historia de la Ciencia y la Tecnología Argentina. I. Picabea, Facundo Coord.

CDD 306.0982

Programa de Estudios Sociales Interdisciplinarios

Universidad Nacional de Luján

Ruta 5 y Avenida Constitución – (6700) – Luján- Argentina

Tel: +54 (02323) 423979

www.unlu.edu.ar

Rector: Walter Panessi

Vicerrectora: María Ester Leguizamón

Decano del Departamento de Ciencias Sociales: Miguel Ángel Nuñez

Vicedecana del Departamento de Ciencias Sociales: Fabiana Carlis

Director Programa de Estudios Sociales Interdisciplinarios: Facundo Picabea

Responsable editorial: Yamila Noely Cáceres

Asistente editorial: Brisa Sánchez

Maquetación: Rocío Canetti/ Yamila Noely Cáceres

Diseño de tapa: Rocío Canetti

Fotografía de tapa: Foto de [Daniel Fazio](#) en [Unsplash](#)

Tecnologías Conocimiento Intensivas en Argentina. Experiencias locales de Investigación y Desarrollo © 2024 está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

LOS AUTORES

YAMILA CÁCERES

Becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas con lugar de trabajo en el Instituto de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (UNQ). Doctoranda del Programa de Doctorado en Ciencias Sociales (FSOC UBA). Magíster en Ciencia, Tecnología y Sociedad (UNQ). Profesora en Historia (UNLu), donde es Ayudante de Primera en la materia Metodología y Técnicas de Investigación Histórica y el seminario Economía Política y Desarrollo en Argentina. Se especializa en el análisis socio-económico de tecnologías conocimiento-intensivas en escenarios periféricos. ycaceres@conicet.gov.ar

MARINA CALAMARI

Licenciada en Ciencia Política (Universidad del Salvador), Magíster en Estudios Organizacionales (Universidad de San Andrés). Se desempeña como investigadora docente en el área de Administración y Gestión de procesos de cambio y desarrollo organizacional del Instituto del Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento. mcalamari@campus.ungs.edu.ar

JUAN CRISTENSEN

Profesor en Historia (UNLu). Maestrando en Sociología Económica (UNSAM) y doctorando del Programa de Doctorado en Ciencias Sociales (FSOC UBA). Becario doctoral de la Comisión de Investigaciones Científicas con lugar de trabajo en el Instituto de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ). Se dedica al análisis de tecnologías conocimiento-intensivas en áreas estratégicas. juaneinar.cristensen@gmail.com

PALOMA FIDMAY

Licenciada en Sociología (FSOC UBA). Realizó un Posgrado de Especialización en Dirección Estratégica de Recursos Humanos (FCEC UBA). Doctoranda en Ciencias Sociales (FSOC UBA). Es investigadora-docente del Instituto de Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Allí, se desempeña en el área de Administración y gestión de procesos de cambio y desarrollo organizacional de dicho espacio. En lo que respecta a docencia, se encuentra a cargo de la asignatura Gestión de Recursos Humanos. Sus temas de investigación se centran con los procesos de violencia prestador-prestatario en organizaciones de servicios. pfidmay@campus.ungs.edu.ar

SANTIAGO GARRIDO

Investigador Adjunto de CONICET con lugar de trabajo en el Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología (UNQ). Doctor con mención en Ciencias Sociales y Humanidades (UNQ). Profesor de Historia, Especialista y Magíster en Ciencias Sociales con mención en Historia Social (UNLu). Docente del departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Quilmes. Director del proyecto PIP “Procesos de transición sustentable en contexto de restricciones macroeconómicas. Análisis de políticas públicas y estrategias institucionales en el sector energético, agroalimentario y de transporte en Argentina” y el proyecto PUNQ “Transiciones Sustentables en Argentina: análisis de experiencias locales de Energías Renovables, Producción Agroecológica y Conservación Ambiental”. santiago.garrido@unq.edu.ar

DANIELA DEL CARMEN MEDINA

Licenciada en Economía Industrial (UNGS). Maestranda en Estudios Organizacionales (UNGS). Tesis en proceso “Resiliencia empresarial en tiempo de crisis: una mirada desde las capacidades dinámicas y el sensemaking”. Investigadora Docente del Instituto de Industria UNGS. Ocho años de experiencia en el dictado de clases en el área de administración. dmedina@campus.ungs.edu.ar

FACUNDO PICABEA

Doctor en Ciencias Sociales por la Universidad de Buenos Aires, Magíster en Economía Política (FLACSO) y Profesor en Historia (UNLu). Investigador adjunto del CONICET, radicado en el Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes, especializado en el área de economía y tecnología en Argentina. En la Universidad Nacional de Luján es Director del Programa de Estudios Sociales Interdisciplinarios y Director de la Licenciatura en Historia, donde es Profesor Regular de Historia Argentina Contemporánea e Introducción a la Economía Argentina. Es Profesor Regular en cursos de posgrado de varias universidades argentinas. fpicabea@conicet.gov.ar

EMILIA RUGGERI

Becaria doctoral de Conicet con lugar de trabajo en el Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología (UNQ). Profesora en Historia y doctoranda en Ciencias Sociales (UNLP). Docente del departamento de Ciencias Sociales en la UNQ. Integrante del equipo de investigación del proyecto PIP “Procesos de transición sustentable en contexto de restricciones macroeconómicas. Análisis de políticas públicas y estrategias institucionales en el sector energético, agroalimentario y de transporte en Argentina” y el proyecto PUNQ “Transiciones Sustentables en Argentina: análisis de experiencias locales de Energías Renovables, Producción Agroecológica y Conservación Ambiental”. emilia.ruggeri@unq.edu.ar

GUILLERMO SANTOS

Doctor en Ciencias Sociales y Humanas (UNLu), Magister en Ciencias Sociales con mención en Historia Social (UNLu), Licenciado en Sociología (UBA) y Profesor de Historia (ISP “Dr. Joaquín V. González”). Investigador del Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología (UNQ). Sus áreas de incumbencia en investigación y docencia incluyen historia social e historia y sociología de la tecnología y el cambio tecnológico; y la educación técnico profesional. Se especializa en la investigación sobre sistemas socio-técnicos de energía, salud y educación. guimarsan@gmail.com

GUSTAVO SEIJO

Investigador-Docente (Profesor Asociado concursado) de la UNGS, Investigador Adjunto de Carrera de Investigador en CONICET e Investigador Categoría II del Sistema Nacional de Incentivos. En cuanto a su formación, es Licenciado en Administración de la UBA y PhD en Management Studies de King's College (University of London). Su labor en investigación está centrada en temas de gestión de investigación y desarrollo científico-tecnológica. Ha publicado en revistas como Organization, Organization Management Journal, Technology Analysis & Strategic Management, Prometheus, Revista Redes, Multiciencias, Revista de Ciencia y Tecnología y Análisis Organizacional. gseijo@campus.ungs.edu.ar

FLORENCIA URCELAY

Becaria doctoral en la Universidad Nacional de Luján en la categoría Formación Superior. Es Doctoranda en Ciencias Sociales (UNLu), Maestranda en Historia Contemporánea (UNGS) con la cursada completa y Profesora en Historia (UNLu). Miembro del Programa Estudios Sociales en Ciencia, Tecnología, Innovación y Desarrollo (UNQ) y del Programa de Estudios Interdisciplinarios (PROESI) radicado en la UNLu. Su principal línea de investigación refiere al análisis social de tecnologías conocimiento-intensivas en escenarios periféricos y a la historia contemporánea en general. urcelayfle@gmail.com

MARIANO VENTURINI

Licenciado en Biotecnología (UNQ), Doctorado en Química (UNSAM) y MBA en Gestión de la Innovación de la Fundação Getulio Vargas (FGV). Actualmente está cursando la Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad (MCTS) en la UNQ. Cuenta con publicaciones en revistas de alto impacto, director de proyectos en reciclado de polímeros por radiación gamma y en la extracción y remediación de uranio mediante técnicas biológicas. Docente en la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ), la Universidad Nacional de Avellaneda (UNDAV) y la Universidad Argentina de la Empresa (UADE). Director de tesis de grado y posgrado, y revisor para revistas internacionales. marianoventu@gmail.com

INDICE

Tecnologías industrializantes: una vieja estrategia para un nuevo modelo de desarrollo <i>Facundo Picabea</i>	13
De las experiencias a la estructura: las capacidades industrializantes...	17
El libro y su propósito.....	19
Un balance del campo.....	21
Los casos de estudio.....	23

I. Experiencias electrónicas en el siglo XXI

¿Qué ha faltado para que se produjera el milagro? Algunas consideraciones alrededor del Programa Conectar Igualdad. Desde los artefactos y hacia una infraestructura nacional de tecnología educativa <i>Gustavo Seijo, Marina Calamari, Paloma Fidmay y Daniela del Carmen Medina</i>	39
La enrevesada naturaleza del Programa Conectar Igualdad.....	39
El Programa Conectar Igualdad en pleno funcionamiento.....	42
Metodología.....	47
Política y tecnología se dan cita en la escuela media argentina.....	49
Entre el milagro que aún aguardamos y las capacidades dinámicas....	57

Capacidades tecnológicas del sector electrónica de consumo en Argentina: fabricación de respiradores en el marco del COVID-19 <i>Florencia Urcelay</i>	65
Introducción.....	65
Marco teórico-metodológico	67
La emergencia sanitaria por COVID-19 y las respuestas del sector privado local.....	69
Leistung: empresa local líder en dispositivos médicos para ventilación pulmonar.....	75
El complejo electrónico de Tierra del Fuego.....	77
El caso de Mirgor: de electrónica de consumo a equipos médicos de emergencia.....	83
Capacidades tecnológicas en la industria electrónica de consumo local.....	85
Consideraciones finales.....	91

II. Capacidades tecnológicas y transición energética

De la ilusión al desencanto. Trayectoria socio-técnica de la industria eólica de alta potencia en Argentina (2005-2023) <i>Santiago Garrido y Emilia Ruggeri</i>	99
Introducción.....	99
Enfoque teórico.....	101
Industria eólica de alta potencia a nivel global.....	103
Trayectoria socio-técnica de la industria eólica de alta potencia en Argentina.....	108
Conclusiones.....	124

Generación de capacidades tecnológicas en una agencia estatal. Desarrollo de sensores y celdas fotovoltaicas en el Departamento de Energía Solar de la CNEA <i>Yamila Noely Cáceres</i>.....	133
Introducción.....	133
Marco teórico-metodológico	135
El Departamento de Energía Solar.....	138
Capacidades tecnológicas en el DES.....	144
Procesos de aprendizajes durante el desarrollo de artefactos fotovoltaicos.....	151
Consideraciones finales.....	153

III. Diseño y producción de tecnologías duales

El sistema de tecnología nuclear en Argentina. Análisis de la trayectoria socio-técnica de la producción radiofármacos con blancos de uranio de bajo enriquecimiento <i>Mariano Venturini y Guillermo Santos</i>	163
Introducción.....	163
El Sistema de Tecnología Nuclear Dual (STeND).....	167
Trayectoria socio-técnica de la producción de radioisótopos con blancos de uranio LEU.....	174
Análisis de la trayectoria socio-técnica de la producción de radioisótopos con blancos de uranio LEU.....	183
Conclusiones.....	188

Dividir átomos en un país periférico. Análisis de la construcción del primer reactor nuclear de América Latina: el RA1	
<i>Juan Cristensen</i>	193
Introducción.....	193
Marco teórico.....	196
Modelo de acumulación: de la industrialización de bienes simples a bienes complejos.....	198
La CNEA y la política nuclear.....	202
RA-1: la materialización de un proyecto de desarrollo.....	207
Consideraciones finales: autonomía tecnológica y acumulación de capacidades.....	210

PRESENTACIÓN

TECNOLOGÍAS INDUSTRIALIZANTES: UNA VIEJA ESTRATEGIA PARA UN NUEVO MODELO DE DESARROLLO

Facundo Picabea

CONICET - UNLU/PROESI - IESCT/UNQ/CIC/BA

Las tecnologías intensivas en conocimiento son el equivalente innovativo actual al maquinismo de la revolución industrial del siglo XIX, por lo que constituyen un sector estratégico como área de interés para alcanzar un desarrollo socio-económico sostenible. Para la economía global, deslocalizada e integrada, marcada por la alta productividad asociada a la automatización, las tecnologías digitales y una creciente diferenciación tecno-productiva entre países centrales y periféricos, el conocimiento es una variable crucial para salir de la senda de la dependencia.

En la posguerra, algunos países de la región siguieron una estrategia que impulsó un progresivo desarrollo económico y social sostenido por más de tres décadas. La industrialización permitió el mejoramiento de la calidad de vida, la generación de empleo especializado bien remunerado, la construcción de infraestructura acorde a los estándares industriales mundiales y la producción de bienes durables de calidad. El impulso de sectores manufactureros estratégicos, subsidios directos e indirectos, protección de la industria nacional, creación de empresas estatales, educación superior libre y gratuita,

combinado con alimentación de calidad, promoción del acceso a la vivienda, educación y salud públicas, generaron un mejoramiento de todos los indicadores sociales que incluso superaron naciones europeas. Estas políticas promovieron la incorporación de valor agregado a partir de la sustitución de bienes importados y la industrialización de materias primas locales generaron ventajas competitivas en el mercado internacional y regional.

La pandemia neoliberal de mediados de los años setenta, dictaduras mediante, erosionó en un par de décadas las bases industriales en toda América Latina a partir de la eliminación gradual de las políticas públicas que promovían la producción local y el desarrollo científico-tecnológico. Casi medio siglo después, luego de una severa crisis económica y social, Argentina continúa insistiendo en la generación de tecnologías conocimiento-intensivas a través de proyectos en áreas estratégicas.

Mucho más allá de los modelos abstractos de la economía del libre mercado que obliga a competir en condiciones de igualdad a naciones estructuralmente asimétricas, lo que finalmente somete a las economías locales a la exportación de materias primas, es la producción diversificada de bienes y servicios de calidad lo que permite mejoras en el nivel de ingresos, incorporación al mercado de trabajo e integración social de sectores marginalizados.

El análisis tecno-económico de estos procesos específicos en naciones como la Argentina permiten afirmar que la intensificación del contenido cognitivo de productos y procesos es un instrumento clave tanto para comprender el pasado y el presente, así como concebir un cambio del perfil exportador de las economías en desarrollo que permita generar una mejora estructural de las condiciones de vida de la población.

La historia económica argentina ha dado cuenta de una centralidad de la producción primaria exportadora desde hace casi dos siglos, lo que consolidó un rol dependiente en el mercado mundial. En ese modelo, los bienes primarios y semielaborados, con poco valor incorporado, ejercieron (por sus características intrínsecas), muy baja presión sobre el sistema nacional de innovación. Apenas

formalizada la independencia colonial, la exportación de cueros fue uno de los motores productivos de la economía local. Siguió la producción de lana, cereales y carne, hasta llegar al presente, donde el principal producto exportado es la soja, sin ninguna elaboración, principalmente utilizada a nivel mundial como forraje. Por ello pretender, como lo continúan haciendo los economistas liberales, que el modelo de acumulación dependiente que limitó históricamente el desarrollo argentino produzca resultados diferentes, no parece un razonamiento adecuado.

La especialización en la exportación de productos primarios implicó un bajo nivel de interacción entre la investigación (en general vinculada a instituciones públicas de ciencia y tecnología), y el sector productivo, que acabó constituyendo una estructura económica desarticulada, altamente concentrada y con significativas asimetrías respecto de las posibilidades de innovación. Aun así, hubo un período en el cual convergieron intereses entre la política pública y la dinámica tecno-económica y se crearon las condiciones para el desarrollo de bienes con alto contenido tecnológico. Durante el proceso de industrialización por sustitución de importaciones (1930-1976), el Estado tuvo un rol protagónico en la conducción de ciertas estrategias (no siempre consistentes, algunas veces incompletas y muchas veces interrumpidas), que permitieron la promoción de sectores excepcionales para países en desarrollo.

Existen experiencias a nivel nacional que permiten analizar procesos de desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento, políticas de ciencia y tecnología en sectores estratégicos y la vinculación entre empresas públicas y el sector privado. Este libro presenta un conjunto de casos que permiten estudiar las políticas públicas, los actores, artefactos y sus entramados, que se produjeron en el pasado y en el presente, en el marco del diseño y fabricación local de estas tecnologías.

Con algunas diferencias, todos los trabajos responden a una pregunta básica: ¿cómo ha sido posible en un país periférico el diseño y fabricación de tecnologías conocimiento-intensivas sustentables en términos comerciales, y competitivas en mercados internacionales?

El análisis de experiencias de tecnologías intensivas en conocimiento es central para comprender los elementos constitutivos y sus relaciones internas y externas en procesos de desarrollo económico y social. Los casos paradigmáticos (entendidos como hechos estilizados de dinámicas tecno-productivas virtuosas), tanto del pasado como del presente, permiten verificar empíricamente la factibilidad local de innovación y producción de bienes complejos, así como generar insumos fundamentales para el diseño de nuevas estrategias e iniciativas en políticas de Ciencia, Tecnología, e Innovación.

La República Argentina tiene una vasta trayectoria en el diseño y fabricación de bienes basados en tecnologías conocimiento-intensivas. En las primeras décadas del siglo pasado, la creación de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) y de la Fábrica Militar de Aviones marcaron un camino, siempre sinuoso, que le permitió a un país periférico ubicarse entre los países con capacidad para producir combustibles y desarrollar de forma endógena algunas tecnologías de uso dual. Primero fue la exploración y producción de hidrocarburos y el diseño y fabricación de aviones y automotores; luego se incursionó en vectores de lanzamiento, enriquecimiento de uranio, reactores nucleares de investigación, y, en las últimas décadas, radares, microelectrónica, satélites científicos y de comunicaciones.

Desde comienzos del siglo XXI, el campo de los estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) aborda la complejidad del desarrollo de tecnologías estratégicas e intensivas en conocimiento en Argentina desde diferentes perspectivas: Thomas, Versino y Lalouf (2004); Lalouf (2005); Picabea (2010); Seijo y Cantero (2012); Picabea y Thomas (2015); Quiroga (2018); Urcelay y Picabea (2019); Quiroga, Nevía y Lugones (2022); Picabea y Cáceres (2023); Garrido y Recalde (2022); Santos (2017); Colombano y Aguiar (2020), entre otros. Estos trabajos han analizado las políticas públicas de ciencia y tecnología, el desarrollo industrial en sectores específicos, la generación de conocimientos, capacidades, procesos y artefactos. Dentro de este marco, los estudios presentados en este libro amplían el análisis de experiencias de significativa trayectoria y permiten estabilizar algunos conceptos; mientras que sus conclusiones constituyen un insumo estratégico para el diseño de políticas públicas.

De las experiencias a la estructura: las capacidades industrializantes

Las capacidades tecnológicas e institucionales son el resultado de procesos de aprendizaje y, por lo tanto, son endógenas a los cambios en la estructura productiva (Lall, 1992). Las capacidades, entendidas como elementos tanto materiales como simbólicos, al estabilizarse, dejan una huella de la trayectoria tecno-productiva de una sociedad. Por un lado, son una consecuencia del camino recorrido, pero a la vez configuran una base y una guía para nuevos procesos de innovación y desarrollo. Cada interacción, aprendizaje, dinámica productiva, resignificación o estilo socio-técnico, funcionan como plataforma desde la que se adaptan, generan y estructuran nuevos procesos (Bell y Pavitt, 1995).

Si los diferentes grupos sociales (instituciones gubernamentales, funcionarios, empresas, científicos, trabajadores, etc.), actúan en ramas específicas de la estructura productiva como agentes especializados, en la medida que esos conocimientos y prácticas permean a otras áreas por la propia dinámica de la producción, hacen circular los aprendizajes promoviendo externalidades hacia otras ramas del sector manufacturero. Ello puede verificarse en la interacción que se da entre fabricantes y sus proveedores para calificar estándares de producción, en las colaboraciones entre empresas privadas y el sector científico-tecnológico público que luego este comparte con otras empresas o en el impulso que cobran algunos proyectos debido al progreso de ramas afines.

Se define aquí a las capacidades industrializantes como un conjunto de saberes y prácticas tecno-productivas generados en el diseño y fabricación de bienes intensivos en conocimiento que, si bien son específicos, permiten promover efectos de arrastre en la industria en general. En el caso argentino, sectores como el aeronáutico y el nuclear fueron fundadores de un estilo local caracterizado por el financiamiento de formación en el exterior, la radicación de científicos extranjeros, la ingeniería reversa y la resignificación de tecnologías. Progresivamente, estos sectores contribuyeron al desarrollo naval, automotriz, electrónico, aeroespacial, etc.

Desde hace más de medio siglo, los estudios económicos sobre curvas de aprendizaje en la producción industrial de bienes conocimien-

to intensivos demostraron la importancia de la experiencia para la disminución de los costos de producción (Colman Sercovich, 1978). Si bien estos estudios son microeconómicos, la idea de un Sistema Nacional de Innovación permite proyectar ello a los costos de diseño e innovación, puesto que cada aprendizaje individual implica mejoras, de una experiencia a otra, en los procesos necesarios para promover la investigación y el desarrollo en un sistema. Aun cuando se tratare de equipos pequeños o 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 a través de recursos humanos especializados, blue prints, equipamiento, procesos o incluso en los requerimientos.

El análisis previo de otros casos en Argentina (industria naval, automotriz, aeronáutica, aeroespacial, microelectrónica, bio-médica, etc.), permite afirmar que en la medida en que se incrementaron las experiencias y procesos de generación de conocimientos y de resignificación tecnológica, la curva de aprendizaje alcanzó una pendiente mayor, afectando no sólo los costos iniciales a nivel de los artefactos o el propio sector, sino sistémicamente, estableciendo una trama tecnoproductiva densa que aumentó las capacidades nacionales de I+D.

De acuerdo con Katz (1978) las capacidades tecnológicas pueden dividirse en: 1- ingeniería de producto (diseño de productos, capacidad de interpretación de planos, diversificación de la producción, adquisición de licencias, etc.); 2- ingeniería de proceso (incorporación de equipos, instalaciones e infraestructura y la organización del proceso productivo, etc.). Podemos agregar a esta pertinente lista de análisis microeconómico, un elemento central desde la revolución industrial para la generación de capacidades a nivel sistémico: el poder eminente del Estado para diseñar políticas públicas que articulen y estructuren de forma virtuosa los procesos, transformando los aprendizajes microeconómicos individuales en potencialmente sociales.

El libro y su propósito

En este libro se presentan seis estudios de caso. Cada uno de ellos se centra en el análisis de procesos concretos de creación de conocimiento y su incorporación a la producción en campos como el energético, el nuclear y la electrónica. Ante las restricciones de los abordajes teórico-metodológicos disponibles en la literatura acerca del cambio tecnológico en contextos periféricos, estas investigaciones se desarrollan a partir de enfoques que integran las dimensiones tecno-científicas, económicas, sociales, políticas e ideológicas. Se analizan especialmente las estrategias desplegadas por los diferentes actores (funcionarios, ingenieros, investigadores, técnicos, empresarios, proveedores, clientes, etc.), involucrados en procesos de producción de tecnologías conocimiento intensivas.

Dadas estas condiciones del escenario local, resulta de particular interés analizar un conjunto de sectores que escapan a la caracterización general de país agro-exportador. Lejos de constituir simples excepciones fuera de contexto, estos casos suponen la existencia de posibles comportamientos alternativos en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación argentino.

Las investigaciones presentadas aquí responden preguntas tales como ¿Por qué un país periférico puede alcanzar estándares internacionales en el diseño y fabricación de bienes intensivos en conocimiento?, ¿Cómo se aplican y replican los conocimientos localmente generados?, ¿Cómo se vinculan con empresas públicas y privadas en entornos de I+D?, ¿Cómo se vinculan los programas, planes y estrategias públicas de impulso a las TCI con la base tecno-cognitiva y productivo-industrial privada y pública en Argentina?

Si bien puede ser útil considerar lecciones de desarrollo generadas en otros contextos, parece cuanto menos pertinente aprender de los casos locales viables. Estos son portadores de un conocimiento estratégico que permite dar cuenta de cómo generar trayectorias tecno-productivas intensivas en conocimientos sustentables en un escenario, aparentemente, adverso. Estos interrogantes surgen, en parte, de la experiencia acumulada a partir de una serie de investigaciones llevadas a cabo en diferentes proyectos en la última década.

A lo largo de los últimos 70 años, Argentina ha desarrollado capacidades en algunas áreas de I+D en el campo de las tecnologías conocimiento-intensivas. Sin embargo, es evidente el desfase entre esta acumulación de capacidades cognitivas y la escasa actividad científico-tecnológica orientada al desarrollo y adopción de estas tecnologías a nivel de la estructura productiva local. Así, en tanto la relación tecnología–desarrollo ha entrado en la agenda de ciencia e innovación productiva, resta aún un desafío estructural, que abarca desde la renovación de los procesos de diseño de políticas, hasta la generación de nuevas capacidades y nuevos instrumentos de gestión.

El análisis de las políticas y estrategias basadas en el diseño, producción e implementación de TCI tiene como objetivo principal elaborar, a partir de estudios de base empírica, una serie de insumos para mejorar las estrategias actuales y crear nuevos instrumentos de gestión y formación de recursos humanos en diferentes niveles decisorios: estatal, no gubernamental, institucional y empresarial.

La generación de políticas que fomenten las tecnologías conocimiento-intensivas debe constituirse en una prioridad para el desarrollo a escala nacional y regional, por lo que es necesario un enfoque analítico-normativo que aborde este campo como una cuestión estratégica. Las experiencias de agencias estatales, empresas públicas y privadas y todo el entramado de proveedores locales, permiten explicar la generación de conocimientos, recursos humanos calificados y desarrollo de infraestructura especializada, así como la promoción de la integración de una matriz insumo-producto sectorial en un campo de agregación de valor de alta complejidad.

Finalmente, el análisis de estas experiencias permite comprender cómo un país agro-exportador y dependiente de las manufacturas importadas puede comenzar a producir bienes conocimiento-intensivos, promover la generación de capacidades tecno-productivas autónomas, la promoción sectorial y la generación de empleo industrial calificado. A su vez, permite analizar una política de ciencia y tecnología en la que la intervención del Estado es central para garantizar procesos estables de desarrollo económico y social.

Un balance del campo

Es posible registrar desde mediados del siglo XX la existencia de una serie de experiencias locales significativas de investigación, desarrollo e innovación tecnológica orientadas a la producción de tecnologías conocimiento-intensivas. Estas iniciativas se desplegaron en diferentes sectores tecno-productivos (aeronáutico, nuclear, aeroespacial, naval, biotecnológico, biomédico, de materiales, metalmecánico, informático, etc.), tanto en empresas privadas de capital nacional como en instituciones públicas y emprendimientos mixtos. La escala de estas producciones es diversa: aviones a reacción, reactores nucleares de experimentación, satélites artificiales, calculadoras y microcomputadoras, tractores de doble tracción, técnicas de clonación, organismos vegetales y animales genéticamente modificados, técnicas quirúrgicas, software, son algunos de los productos conocimiento-intensivos localmente desarrollados en el país desde la industrialización.

En lo que respecta al estudio de las experiencias de tecnologías conocimiento-intensivas aplicadas a la producción industrial con intervención estatal, se encuentran los trabajos de Claudio Bellini (2001 y 2006), quien analizó desde un abordaje histórico el caso de la Dirección Nacional de Industrias del Estado (DiNIE) entre 1947 y 1962; de Facundo Picabea y Hernán Thomas (2015), quienes analizan, desde los estudios sociales de la tecnología y la innovación, el caso de Industrias Mecánicas del Estado (IME), entre 1952 y 1980; y de Seijo y Blugerman (2016), quienes analizan desde la Economía de la Innovación el desarrollo de los simuladores de tiro del Instituto de Investigaciones Científicas para la Defensa, su emergencia y los problemas existentes para su comercialización. En referencia al sector espacial, pueden citarse trabajos desde la economía de la innovación como los de López, Pascuini y Ramos (2017) que exploran la economía del espacio en la Argentina; de Drewes (2014) que presenta los actores sociales claves en el desarrollo satelital y de Seijo y Cantero (2012) quienes analizan históricamente el proceso de generación y desarrollo de tecnologías de investigación intersticiales en INVAP.

Actualmente existen trabajos en los que el desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas en áreas estratégicas fue objeto de un análisis socio-técnico. Pueden citarse los análisis de caso del avión Pul-

qui (Lalouf y Thomas, 2004; Lalouf, 2005), del Rastrojero y la moto Puma (Picabea y Thomas, 2011 y 2015) y en referencia al desarrollo de tecnologías nuclear y aeroespacial entre 1970-2005 (Thomas, Versino y Lalouf, 2003 y 2006).

Por otro lado, en tanto en América latina el desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas estuvo estrechamente vinculado a la intervención estatal en sectores considerados estratégicos por sus gobiernos, existen estudios dentro de la tradición de la Ciencia Política o del análisis de políticas, que enfatizan la importancia de los aspectos institucionales, ideológicos y geopolíticos involucrados en dichos procesos (Adler, 1987; Dagnino, 1988 y 1993; Dagnino y Velho, 1998; Solingen, 1996; Dagnino y Proença, 1998).

Este libro tiene por objetivo comunicar resultados de estudios recientes, así como invitar al debate y desplegar una agenda de investigaciones orientada a maximizar el potencial descriptivo-explicativo de la convergencia entre sociología de la tecnología y economía de la innovación en clave histórica. Esta innovación temática implicó la necesidad de desarrollar nuevos conceptos teóricos, formular estrategias metodológicas adecuadas, y producir conocimientos sobre material empírico que hasta entonces no había sido investigado.

El equipo de investigación del Área de Tecnología y Desarrollo Productivo del Programa de Estudios Sociales Interdisciplinarios de la UNLu (con una extensa trayectoria de investigación acumulada en estudios de economía política, historia económica y sociología de la tecnología) impulsó la publicación del presente libro. En la actualidad, las actividades de investigación se enmarcan en proyectos con financiamiento de diferentes agencias nacionales y de la propia universidad.

Finalmente, las investigaciones aquí presentadas dan cuenta de un conjunto de teorías fuertemente arraigadas y estabilizadas en el campo CTS como el abordaje socio-técnico, la economía de la innovación y la teoría del actor-red. La adopción de estos abordajes transdisciplinarios y relativistas como matriz conceptual articuladora de un proceso analítico, constituye una operación teórico-metodológica clave para captar la multidimensionalidad de los objetos de las investigaciones: las estrategias, políticas y acciones específicas basadas en tecnologías conocimiento-intensivas y su incidencia en la promoción de dinámicas de desarrollo.

Los casos de estudio

Este libro reúne un conjunto de investigaciones de base empírica cuyo criterio de agrupación fue su afinidad para construir inteligibilidad sobre procesos de innovación y desarrollo de bienes intensivos en conocimiento en Argentina. Los criterios de selección de cada caso fueron que respondieran a interrogantes sobre empresas públicas y privadas de capital nacional, exportadoras de tecnología (al menos potencialmente), competitivas en el mercado local y regional, y con ventajas competitivas basadas en el uso de conocimientos científicos y tecnológicos. En todos los casos, ya sea que se trate de experiencias más o menos recientes, se trata de procesos ya concluidos, lo que permite cierta distancia analítica para su evaluación.

El libro se divide en tres secciones, cada una de ellas de dos capítulos. Si bien todos los trabajos analizan el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento en el país, una organización temática permite abordar más adecuadamente los campos, las preguntas y los propósitos de cada uno. La primera parte reúne dos investigaciones que, si bien son muy diferentes, ponen el foco en la producción del complejo industrial de electrónica de consumo de Tierra del Fuego: Conectar-Igualdad y Mirgor. La segunda parte está guiada por el análisis de experiencias locales de la transición energética, especialmente el desarrollo de energías renovables: industria eólica de alta potencia y celdas solares para misiones espaciales. Finalmente, la tercera parte se centra en el análisis de experiencias del sector nuclear: la producción de radioisótopos para uso médico y la fabricación de un reactor experimental.

A continuación, una breve consideración de los trabajos presentados:

1- ¿Qué ha faltado para que se produjera el milagro? Algunas consideraciones alrededor del Programa Conectar Igualdad. Desde los artefactos y hacia una infraestructura nacional de tecnología educativa

En este capítulo, Seijo, Calamari, Fidmay y Medina analizan la compleja trayectoria de un programa nacional orientado a reducir la brecha digital, educativa y por lo tanto social en Argentina. Guiada por el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento, la investigación

centra su foco especialmente en el diseño y fabricación local de hardware y otros componentes durante el período de apogeo del Programa Conectar Igualdad. A partir de la teoría del Actor Red de Callon (1981) y Latour (1989), se analiza la diversidad social y tecnológica que caracterizó a un programa que buscaba impulsar a un tiempo la inclusión digital, la educación, la producción de contenido, el acceso a la información, la sustitución de importaciones y el desarrollo de software de código abierto.

Un aspecto bien desarrollado en el trabajo es la mutación permanente del Conectar Igualdad a lo largo de su trayectoria. A partir de ciertos obstáculos (como la falta de conectividad en las escuelas), u oportunidades externas al propio programa (el impulso a la sustitución de importaciones), la política integraba nuevas dimensiones, lo que implicaba nuevos actores y marcos tecnológicos. Si bien ello puede ser considerado de manera positiva, a su vez muestra una gran dispersión de objetivos que implicó, no sólo el aumento exponencial de los “costos” asociados al programa, sino también una mayor dificultad para evaluar el programa de forma integral.

Finalmente, en términos de economía e innovación, el trabajo pone de relieve un relativamente acelerado proceso de integración tecno-productiva, puesto que demuestra que mientras en 2010 la totalidad de las computadoras entregadas por Estado argentino a través del Programa Conectar Igualdad eran importadas en caja cerrada, para 2013, numerosos componentes eran de fabricación nacional: el 100% de las memorias, las placas sintonizadoras y las baterías de celdas se ensamblaron localmente en Tierra del Fuego, mientras que los cables de alimentación eléctrica y los cargadores de batería eran fabricados en el país.

Aun con ciertos límites estructurales y modificaciones significativas durante el proceso, que afectaron el desempeño del programa, el trabajo concluye que en el caso del Programa Conectar Igualdad la política de sustitución de importaciones al amparo del poder de compra del Estado Nacional, que casi cuadruplicó la cantidad anual de computadoras entregadas, mostró un resultado positivo.

La investigación permite establecer algunos aprendizajes. Con respecto a la idea de un programa 1:1 (un estudiante / una netbook) es pertinente repensar el carácter múltiple de la iniciativa, considerando

el carácter heterogéneo de la escuela media. Ello implica asumir que no existe un usuario-tipo, lo que permitiría consolidar una tecnología conocimiento-intensiva que se parece más a una infraestructura tecnológica educativa nacional que a la mera acumulación de artefactos.

2- Capacidades tecnológicas del sector electrónica de consumo en Argentina: fabricación de respiradores en el marco del COVID-19

El trabajo presentado por Florencia Urcelay se destaca por su originalidad ya que analiza el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento durante la emergencia sanitaria del COVID-19 entre 2020 y 2021. Se describe como, en el contexto de mayores restricciones por el aislamiento preventivo (ASPO), se asociaron dos firmas argentinas para aumentar la producción de dispositivos de cuidados intensivos. El sector productivo en Argentina no permaneció ajeno a la crisis desatada por la pandemia en el año 2020 y llevó adelante proyectos de innovación para dar respuesta a problemas asociados a la emergencia sanitaria. Esta experiencia la protagonizaron Leistung (empresa mediana de Córdoba), especializada en la fabricación de respiradores, que se asoció con Mirgor (compañía radicada en Tierra del Fuego y dedicada a fabricar productos electrónicos de consumo de línea blanca como televisores, celulares, acondicionadores de aire y equipos electrónicos y partes con alto valor agregado para la industria automotriz).

El objetivo de la investigación es analizar dos dimensiones asociadas al desarrollo de capacidades tecno-productivas. Por un lado, al recuperar las trayectorias de las firmas, se relevan las capacidades instaladas a nivel de diseño y desarrollo de productos electrónicos; por otro lado, el estudio del diseño de procesos para escalar la producción de bienes que ya se fabricaban.

El trabajo aprovecha para describir una evolución de los principales indicadores económicos durante la pandemia por COVID-19 y una descripción de las respuestas del sector manufacturero local a los desafíos impuesto por la crisis, además de las características principales del artefacto producido entre Leistung y Mirgor. En este capítulo se presentan algunas características de la firma cordobesa Leistung, especialmente el artefacto “respirador” y se explican algunas caracte-

rísticas del complejo electrónico de Tierra del Fuego destacando las características de Mirgor. El foco se centra en las capacidades tecnológicas dinámicas puestas en valor por la empresa fueguina evidenciando las relaciones establecidas entre diferentes actores del empresariado local.

Como principales aportes, el capítulo es concluyente respecto de que la fabricación en serie de los respiradores artificiales da cuenta de una capacidad madura de diseño de procesos y producción de algunas empresas argentinas, sobre todo en un contexto de aislamiento social y restricciones en el comercio internacional. De allí que las capacidades dinámicas de absorción y adaptación resultaran claves, ya que les permitieron a las compañías implementar estrategias para desplegarse en entornos cambiantes y explotar oportunidades, en este caso en el escenario de una crisis global. A su vez, el análisis de una empresa beneficiaria del régimen de promoción industrial de Tierra del Fuego permite revelar la complejidad de los procesos tecno-productivos que allí ocurren, las capacidades tecno-productivas instaladas, como así también las capacidades de vinculación desarrolladas a partir de las relaciones establecidas con marcas líderes a nivel mundial. Para la autora, esto resulta relevante porque permite poner en tensión las ideas corrientes sobre la baja dificultad existente en los procesos industriales de ensamblado.

En ese sentido, el trabajo también contribuye al debate en torno al régimen promocional de Tierra del Fuego que suele girar alrededor de dos cuestiones fundamentales: 1- su peso en relación a las importaciones industriales totales y 2- las pérdidas fiscales generadas por las exenciones impositivas. De manera sorpresiva, la problematización de estos puntos no ha sido abordada de manera exhaustiva en el ámbito de académico. Esto contribuye a repensar tanto en el espacio político como en las ideas que alimentan el sentido común sobre la industria fueguina al considerarla una actividad ensambladora, deficitaria y de bajo contenido tecnológico. Si bien estos problemas deben ser analizados de manera más exhaustiva, el presente capítulo permite dar cuenta de las capacidades tecnológicas que adquirieron las empresas de electrónica de consumo en la actualidad.

3- De la ilusión al desencanto. Trayectoria socio-técnica de la Industria eólica de alta potencia en Argentina (2005-2023)

El capítulo de Santiago Garrido y Emilia Ruggeri analiza la trayectoria socio-técnica de la industria eólica de alta potencia en Argentina entre 2005 y la actualidad. En este caso se pone el foco en el proceso de co-construcción de políticas públicas y dinámicas de desarrollo tecno-productivo, buscando nuevas reflexiones acerca de los procesos de transición energética en países como Argentina.

El trabajo propone que los desafíos que presenta la crisis climática global pueden ser una ventana de oportunidad para el desarrollo, por lo que la transición energética puede guiar un nuevo régimen socio-técnico basado en la sostenibilidad. Ello permitiría el diseño de una estrategia que genere dinámicas locales de innovación adecuadas a estilos tecnológicos del siglo XXI, la apertura de nuevas líneas de productos, de nuevas empresas productivas y de nuevas formas de organización de la producción. Puede favorecer la generación de nuevos sectores económicos, redes de proveedores y nuevas oportunidades de exportación.

Un aporte significativo de la investigación es el contraste de la transición energética entre países centrales y periféricos, especialmente la relación entre la necesidad de comenzar la transición cuánto antes y las oportunidades tecno-productivas que el proceso implica. En las naciones europeas se impulsó un proceso de transición agresivo en el que se combinó una serie de políticas orientadas al desarrollo de capacidades tecno-productivas para la fabricación de aerogeneradores, con una normativa fuerte que aceleraba la adopción de energías renovables. En Argentina el proceso fue diferente.

En Argentina, las políticas orientadas al desarrollo de capacidades científico-tecnológicas y las normativas dirigidas a promover la penetración de las energías renovables en la matriz local operaron aisladas, dispersas e incluso de forma contradictoria. En el caso concreto de la energía eólica de alta potencia, estas iniciativas se concentraron en los últimos veinte años en un ciclo que pasó por instancias de ilusión, euforia y desencanto en poco tiempo. De esta forma, el impulso para el desarrollo y fabricación de bienes complejos como los aerogeneradores, posicionó a algunas naciones europeas como proveedores de

maquinaria y equipo, mientras que los países de la región se vuelven adoptantes y receptores, reproduciendo condiciones históricas de la división internacional del trabajo.

El capítulo propone la reconstrucción de la trayectoria de un sector estratégico e intensivo en conocimiento que puede resultar clave en la reconfiguración tanto de la matriz energética del país como de su desarrollo tecno-productivo. Para ello el análisis se centra en tres dimensiones: el impulso global de las energías renovables, la regulación local sobre el tema y el desarrollo institucional e innovativo del campo científico-tecnológico público argentino.

Un profundo análisis de los diferentes elementos sociales y tecnológicos involucrados en el proceso de transición energética en Argentina revela una temprana producción local con dispares resultados en las últimas décadas, enmarcado por un inestable interés del Estado que, si bien estimulaba la innovación a través de diferentes instrumentos, en general lo hacía de manera inestable y generalmente insuficiente como para establecer cambios decisivos a nivel sectorial.

El trabajo permite establecer, entre otros aportes, que existió una fuerte impronta de las estructuras globales de diseño, fabricación y comercialización de tecnologías intensivas en conocimiento frente a la falta de coordinación entre las políticas públicas orientadas a generar capacidades locales a nivel de nicho y la creación de una normativa eficiente para garantizar su adopción progresiva en la producción de energía eólica.

4- Generación de capacidades tecnológicas en una agencia estatal. Desarrollo de sensores y celdas fotovoltaicas en el Departamento de Energía Solar de la CNEA

El trabajo de Yamila Cáceres aborda el desarrollo de componentes intensivos en conocimiento en el Departamento de Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica. A partir del análisis de la experiencia de esta institución en el desarrollo de dispositivos para las misiones de satélites científicos en el país, se aborda especialmente la generación de capacidades tecnológicas específicas en el diseño y fabricación de componentes para el sector aeroespacial. En un nivel

superior, el objetivo es la comprensión de hechos estilizados que permitan sumar experiencias modélicas que permitan generar dinámicas tecno-productivas similares, así como diseñar políticas públicas orientadas a la promoción del desarrollo sustentable. La investigación está guiada a dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Por qué la Comisión Nacional de Energía Atómica creó un departamento orientado a la investigación y desarrollo de la energía solar?, ¿Qué capacidades tenía el Departamento de Energía Solar que favorecieron su vinculación con la CONAE? ¿Cómo y qué capacidades se desarrollaron a partir de su inserción en los proyectos satelitales?

La trayectoria del artefacto inicia en la década de 1990, cuando el Departamento de Energía Solar de CNEA trabajaba en el diseño, elaboración y caracterización de celdas de silicio. En ese escenario, el gobierno nacional creó la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y sancionó el Plan Nacional “Argentina en el espacio 1995-2006” con el fin de estimular la investigación y el desarrollo local de componentes adecuados para su uso en el espacio exterior.

Una de las áreas en las que se destacó la agencia estatal fue en la fabricación de celdas solares encargadas de proveer de energía a los satélites. Esta actividad, orientada en sus inicios a cubrir la vacancia de componentes para proyectos específicos, en la actualidad implica la comercialización de sensores solares en el exterior. Un aspecto que se destaca en la experiencia es la colaboración de instituciones del complejo científico-tecnológico. Para el desarrollo de componentes el Departamento de Energía Solar recibió la colaboración, además de la ya mencionada CONAE, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, de la empresa INVAP S.E. y de la División de Semiconductores del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA).

El trabajo analiza pormenorizadamente cada instancia del proceso de diseño y fabricación de las celdas solares para la conversión fotovoltaica con el objetivo de proveer de energía a satélites. Ello permite comprender la importancia de una acumulación previa de capacidades locales, propias de la CNEA, pero también de otros actores que confluyeron en una experiencia en particular y permitieron generar nuevas capacidades especializadas. La investigación pone de manifies-

to la centralidad de la articulación de diferentes agencias científicas en el desarrollo de tecnologías conocimiento-intensivas que permitan dinamizar la estructura tecno-productiva local y su potencial para exportar sus resultados a mercados internacionales.

5- El sistema de tecnología nuclear en Argentina. Análisis de la trayectoria socio-técnica de la producción de radiofármacos con blancos de uranio de bajo enriquecimiento

El trabajo de Mariano Venturini y Guillermo Santos se propone analizar la construcción de funcionamiento de tecnologías duales como las del sector nuclear en Argentina a través del caso específico de la producción de radiofármacos. A partir de tres preguntas, el estudio organiza un texto complejo a nivel técnico, pero, justamente por ello, preciso y decisivo en sus conclusiones: ¿Cómo ha sido posible el desarrollo de una tecnología de alta complejidad? ¿Cómo ha logrado viabilidad tecno-productiva, político-institucional y económico-financiera? ¿Por qué es estratégico el posicionamiento de la Argentina como productora de tecnologías duales?

A través del análisis de un proceso altamente especializado y restringido a pocas naciones como lo es la fisión nuclear para la producción de fármacos, los autores reconstruyen la trayectoria socio-técnica de este proceso de co-construcción de tecnologías, normativas, ideologías, políticas públicas y dinámicas de desarrollo productivo. Ello permite generar nuevas explicaciones acerca del funcionamiento/no funcionamiento de las políticas públicas orientadas a generar productos y procesos intensivos en conocimiento.

El capítulo se estructura en dos apartados. El primero se centra en explicar la complejidad de las tecnologías nucleares y por lo tanto la gran acumulación de capacidades científico-tecnológicas necesarias para diseñar y producir estos bienes intensivos en conocimiento. Se describe el carácter dual de estas tecnologías como aquellas que pueden ajustarse tanto a objetivos civiles (tecno-productivos), como militares (para la defensa), y por lo tanto el estrecho control internacional al que está sometido todo el proceso de innovación y desarrollo de cualquier producto, aunque se trate de fármacos. El principal aporte

de esta sección es la intrincada institucionalidad y acuerdos internacionales que regulan toda la actividad, especialmente los acuerdos de paz y de no proliferación de armamento nuclear que establecen de forma taxativa las condiciones y compromisos que algunas naciones como Argentina deben suscribir para poder involucrarse en el campo.

En el segundo apartado se analiza específicamente la producción de radioisótopos de blancos de uranio de bajo enriquecimiento para la fabricación de medicamentos. La investigación inicia con los primeros pasos de la CNEA en la década de 1960 pero que da un vuelco significativo a partir de las décadas siguientes, a partir de una revolución tecnológica en el diagnóstico por imagen que vuelve a los radioisótopos un elemento central. En la fase final, el capítulo analiza como a finales del siglo XX y las primeras décadas del XXI Argentina, merced a la producción de INVAP, comienza a exportar a otros países estas tecnologías intensivas en conocimiento.

El trabajo concluye sobre la heterogeneidad de elementos sociales y tecnológicos que requiere un sistema de innovación para la producción de uranio, su disposición y salvaguarda necesarios para producir artefactos para medicina nuclear.

6- Dividir átomos en un país periférico. Análisis de la construcción del primer reactor nuclear de América Latina: el RA1

El objetivo de Juan Cristensen para este capítulo es analizar la construcción del reactor de investigación RA-1 en el año 1958, vinculado con la trayectoria de la CNEA desde su constitución hasta el momento de la inauguración del propio reactor. El trabajo pretende continuar la discusión en torno a las siguientes preguntas: ¿Por qué y con qué objetivos el Estado argentino promovió la construcción de reactores nucleares de investigación? ¿Cómo se construyó funcionamiento a los desarrollos tecnológicos generados en el país?

El trabajo combina un análisis más estructural en el que se analiza las relaciones y regulaciones internacionales, el modelo de acumulación de industrialización por sustitución de importaciones y las políticas públicas asociadas con la producción energética y el desarrollo nuclear. Por otro lado, se reconstruye la trayectoria socio-técnica del

proceso de construcción del reactor para comprender las lógicas y sentidos vinculados con el RA-1 y el desarrollo científico-tecnológico y económico del país.

En el capítulo se articula la trayectoria del RA-1 en un escenario dominado por un conjunto de regulaciones a nivel mundial en el que las principales potencias desarrollaron sus propios reactores para la producción de energía a mediados del siglo XX, con un nivel local en el que se analiza la producción de tecnologías dentro del marco del modelo de acumulación entre 1950 y 1958. La investigación pone de relieve los aspectos centrales de la creación de la CNEA y las primeras ideas para fabricar un reactor nuclear experimental, los procesos de toma de decisión y las capacidades necesarias para su construcción.

Uno de los principales aportes del trabajo es la recuperación de los diferentes debates respecto de un sector de tecnologías duales que, visto desde los márgenes del poder mundial permite considerar las restricciones externas y la potencialidad interna; las agendas globales y, especialmente, las posibilidades para el desarrollo de tecnologías intensivas en conocimiento bajo estas condiciones en países como Argentina.

Bibliografía

- ADLER, E. (1987). *The power of ideology. The quest for technological autonomy in Argentina and Brazil*. Berkeley: University of California Press.
- BELINI, C (2006) Negocios, poder y política industrial en los orígenes de la industria automotriz argentina, 1943-1958. En Revista de Historia Industrial N° 31. Año XV. Barcelona, Universidad de Barcelona.
- BELINI, C. (2001), D.I.N.I.E. y los límites de la política industrial peronista, 1947-1955, Desarrollo Económico – Revista de Ciencias Sociales, Vol. 41, N° 161, pp. 97-119.
- CALLON, M. (1981). Pour une Sociologie des controverses technologiques. *Fundamenta Scientiae*, 2 (3-4), pp. 381-399.
- COLMAN SERCOVICH, F. (1978). “Ingeniería de diseño y cambio técnico endógeno: un enfoque microeconómico basado en la experiencia de las industrias química y petroquímica argentinas,” Series Históricas 9116, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

- COLOMBANO, L., Aguiar, D. (2020). La interpretación primitiva del diseño en la fábrica argentina de helicópteros Cicaré S.A. (1956-2015), *Ciencia y Poder Aéreo*; Lugar: Bogotá, vol. 15 p. 122 – 142
- BELL, M. y Pavitt, K. (1995). “The Development of Technological Capabilities”, en I.U. Haque (ed.), *Trade, Technology and International Competitiveness*, Washington, The World Bank, pp. 69-101.
- DAGNINO, R. (1988). La reorientación del desarrollo de América Latina y el impacto de las nuevas tecnologías.
- DAGNINO, R. (1993). To the barracks or into the labs? Military programmes and Brazilian S&T policy. *Science and Public Policy*, 20(6), 389-390.
- DAGNINO, R. y Proença, D. (1998). The Brazilian Arms Industry and Civil Military Relations”, en Kaldor, M.; Albrecht, U. y Schmeder, G. (Eds.), *The End of Military Fordism*, Pinter/ The United Nations University, Londres y Washington.
- DAGNINO, R., & Velho, L. (1998). University-industry-government relations on the periphery: the University of Campinas, Brazil. *Minerva*, 229-251.
- GARRIDO, S. y Recalde, M. (2022). *Transición energética justa: una mirada desde América del Sur Transición energética en Sudamérica. Discusión conceptual, políticas públicas y experiencias locales*. Carapachay: Lenguaje Claro
- 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.
- DREWES, L. (2014). El sector espacial argentino: Instituciones referentes, proveedores y desafíos. Benavidez: ARSAT - Empresa Argentina de Soluciones Satelitales.
- LALL, S. (1992). “Technological Capabilities and Industrialization”. *World Development*, 20(2):165-186.
- LALOUF, A. y Thomas, H. (2004). Desarrollo Tecnológico en Países Periféricos a Partir de la Cooptación de Recursos Humanos Calificados. Aviones de Caza a Reacción en la Argentina. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, [S.l.], n. 35,
- LALOUF, A. (2005). Construcción y desconstrucción de un ‘caza nacional’. Análisis socio-técnico de la experiencia de diseño y producción de los aviones Pulqui I y II (Argentina – 1946/1960). (Tesis de maestría inédita). Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.
- LATOUR, B. (1989). *La ciencia en acción*. Barcelona: Labor.

- LÓPEZ, A.; Pascuini, P. y Ramos, A. (2017). Al infinito y más allá una exploración sobre la economía del espacio en Argentina. IIEP. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires.
- QUIROGA M., Nevía V. y Lugones, M. (2022). Tecnologías tecnológicas y políticas pendulares: continuidades y rupturas en los sectores nuclear, espacial y radar en Argentina (2003-2019), Revista Redes. vol. 27 N° 52, p. 13 - 44
- PICABEA, F (2010). Sustitución de importaciones y cambio en el modelo tecno-productivo en la Argentina peronista. Análisis socio-técnico del proyecto de producción automotriz local Apuntes. Revista de Ciencias Sociales; p. 117 - 146
- PICABEA y Cáceres, Y. (2023). Generación de capacidades en empresas tecnológicas del sector espacial argentino. Revista Ciencia, Tecnología y Política. vol. 6, p. 1 - 12
- PICABEA, F. y Thomas, H. (2015). *Autonomía tecnológica y desarrollo económico. Historia del diseño y producción del Rastrojero y la Moto Puma*. Buenos Aires: Ed. Atuel.
- PICABEA F. y Thomas H. (2011), Política económica y producción de tecnología en la segunda presidencia peronista. Análisis de la trayectoria socio-técnica de la motocicleta PUMA (1952-1955), Revista Redes, Universidad Nacional de Quilmes editorial.
- QUIROGA, M. (2018). Primeros desarrollos de tecnología radar en los principales beligerantes de la II Guerra Mundial. Un análisis desde la perspectiva Ciencia, Tecnología y Sociedad. Ciencia, Docencia y Tecnología, UNER, Vol. 29. N°57.
- SANTOS, G. (2017). Alcances y restricciones de la producción pública de medicamentos en Argentina (2002-2015), Anuario del Centro de Estudios Económicos de la Empresa y el Desarrollo, Ed UBA-FCE, Centro de Estudios de la Empresa y el Desarrollo
- SEIJO, G. y Blugerman, L. (2015). Historia de Dos Proyectos. Una Discusión Acerca del Proceso Decisorio de I+D en una Empresa de Biotecnología. Revista Multiciencias; vol. 15 p. 428 - 437
- SEIJO y Cantero (2012). ¿Como hacer un satélite espacial a partir de un reactor nuclear? Elogio de las tecnologías de investigación en INVAP. Revista Redes; vol. 18, p. 13 - 44
- SOLINGEN, E. (1996). Industrial Policy, Technology, and International Bargaining. Designing Nuclear Industries in Argentina and Brazil, Stanford University Press, Stanford
- THOMAS, H., Versino, M. y Lalouf, A. (2006). "Trayectorias socio-técnicas, estilos de innovación y cambio tecnológico, resignificación de

- tecnologías y conocimientos genéricos en países subdesarrollados”. VI Jornadas latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la tecnología (ESOCITE).
- THOMAS, H.; Versino, M. y Lalouf, A. (2004). La producción de artefactos y conocimientos tecnológicos en contextos periféricos: resignificación de tecnologías, estilos y trayectorias socio-técnicas, en V ESOCITE: La construcción de la tecnociencia en la Sociedad Latinoamericana Contemporánea, CD, UAEM, Toluca.
- THOMAS, H.; Versino, M. y Lalouf, A. (2003), Dinámica socio-técnica y estilos de innovación en países subdesarrollados: operaciones de resignificación de tecnologías en una empresa nuclear y espacial argentina”, ponencia presentada en el X Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica: “Conocimiento, Innovación y Competitividad: Los Desafíos de la Globalización-ALTEC 2003”, UNAM – México D.F. (México).
- URCELAY, F. y Picabea, F. (2019). Diseño y producción de aeronaves en la Argentina. El Instituto Aerotécnico de Córdoba (1943-1956), Tercer Congreso Argentino de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (CAESCyT), Mar del Plata.

Experiencias electrónicas en el siglo XXI

CAPÍTULO 1

¿QUÉ HA FALTADO PARA QUE SE PRODUJERA EL MILAGRO? ALGUNAS CONSIDERACIONES ALREDEDOR DEL PROGRAMA CONECTAR IGUALDAD. DESDE LOS ARTEFACTOS Y HACIA UNA INFRAESTRUCTURA NACIONAL DE TECNOLOGÍA EDUCATIVA

Gustavo Seijo, Marina Calamari, Paloma Fidmay, Daniela del Carmen Medina

CONICET -UNGS

La enrevesada naturaleza del Programa Conectar Igualdad¹

El Programa Conectar Igualdad (PCI) fue creado mediante el Decreto del Poder Ejecutivo Argentino N° 459 de abril de 2010. El PCI es considerado un programa de modalidad educativa 1:1. Esto indica que por cada estudiante debía haber una netbook, tal y como había sido configurado el programa One Laptop Per Child (OLPC) que era una iniciativa del Massachusetts Institute of Technology (MIT) destinada, específicamente, al cierre de brecha digital. A su vez, esta modalidad 1:1 pensaba al usuario como potencial productor de tecnología. Es decir, el usuario no sólo usaría una netbook pasivamente, sino que, cual homo faber, podría producir nuevas herramientas y tecnologías a partir del vínculo generado por esta modalidad educativa 1:1.

¹ Una versión preliminar de este manuscrito fue presentada en las XII Jornadas Latino-Americanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (ESOCITE 2018) en Santiago, Chile.

En contraste con el alcance del OLPC, el PCI se proponía discursivamente, en la prosa del decreto de su creación, ‘reducir las brechas digitales, educativas y sociales en el país.’ Por ende, desde su más temprana infancia, el PCI ha sido un programa discursivamente educativo y ha tenido a la escuela media argentina como mayor beneficiario y locus de política pública – marginalizando, por tanto, la relevancia de objetivos tales como el cierre de brechas digitales y sociales. Con la promulgación de este programa de política pública en 2010, estudiantes y profesores de a) la educación secundaria de gestión pública, b) la educación especial, y c) los institutos de formación docente se volvieron sujetos de derecho debido a la inclusión educativa que proponía el Decreto N° 459.

Más allá de esta enunciación de sujetos de derecho, el programa Conectar Igualdad coloca un fuerte énfasis en el aula y la posible utilización de las netbooks como soporte del proceso de enseñanza y de aprendizaje. Esta impronta educativa del PCI se vio perfectamente reflejada en el nombramiento de los referentes gubernamentales a cargo del programa por parte de ANSES (que financió en gran medida el programa, a la vez que aportó la base de datos de potenciales beneficiarios) y del Ministerio de Educación. Si bien el gobierno del Conectar Igualdad fue tetrapartito, estos dos órganos de gobierno contaron con mayor discrecionalidad decisoria desde 2010 y hasta 2015. Académicos provenientes del campo educación (y no de campos relacionados con tecnología) estuvieron a cargo del PCI en estas dos carteras.

A nivel de los artefactos tecnológicos, al comenzar Conectar Igualdad en Argentina, y a diferencia de otras experiencias similares en la región como Uruguay, Paraguay, y Perú, se tomó la decisión de no utilizar la netbook OX-1 (proveniente del Programa One Laptop per Child) que dependía fuertemente de la conectividad. A pesar de que esta última no fue la razón por la que dicha netbook fue dejada de lado, el PCI decidió utilizar la Classmate, que posee la interfase gráfica clásica del escritorio de Windows, y que contaba con un disco rígido de alta capacidad para el año 2010 (500 Giga-Bytes) al que se le podía incorporar una variedad de contenidos digitales vinculados a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la escuela media argentina. Una ventaja de la utilización de la Classmate, en comparación con la

descartada OX-1, siguiendo el testimonio de una referente (y tomadora de decisión) del PCI por parte de ANSES, estuvo dada porque este artefacto contaba con Windows y los aplicativos de Microsoft. Esta referente de ANSES indicó en la entrevista que estos aplicativos son aquellos que los estudiantes de la escuela media probablemente van a encontrar en el ámbito laboral, una vez terminada la etapa de escolarización obligatoria. Siguiendo esta línea de razonamiento, las netbooks de Conectar Igualdad cimentaban, de algún modo, la empleabilidad futura de los estudiantes de la escuela media argentina.

No obstante, la evaluación comparativa realizada por académicos la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA) (Degrati et al., 2007) conforme la cual la Classmate resultó seleccionada para el PCI, se circunscribió enteramente a temas de hardware – haciendo caso omiso a la escuela media argentina, sus características, los contenidos educativos locales o regionales, el perfil escolar y el devenir laboral futuro de los estudiantes. En términos de la red de actores que circulan alrededor de la Classmate podemos encontrar aquí principalmente a Intel como productor de procesadores, a Microsoft como productor de software y al gobierno nacional que acuñó un programa de política pública de corte educativo financiado en gran medida por ANSES.

Por lo tanto y con la Classmate como actor central de esta red, Conectar Igualdad se transformó en el programa educativo de mayor porte a nivel mundial centrado en la distribución de netbooks bajo contrato de comodato. El PCI llegó a entregar unas 5.400.000 netbooks entre 2010 y 2016, conforme el testimonio de la responsable a cargo del PCI por parte de ANSES. La misma entrevistada destacó que la eficiencia central del programa circuló alrededor de la producción y entrega de sucesivos lotes de netbooks.

Seguido a unos años de letargo en donde se distribuyó una cantidad ínfima de netbooks (en comparación al período 2010-2015 referido en el párrafo precedente) Conectar Igualdad dejó de existir como programa de gobierno el 3 de mayo de 2018 merced al Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 386 que, a la vez que creaba el Plan Aprender Conectados con una teleología completamente diferente al PCI, daba por terminado, de manera definitiva, el Programa Conec-

tar Igualdad. Dicho decreto de muerte desestima de modo categórico la modalidad de aprendizaje 1:1, el rol del usuario como productor y el financiamiento global del programa a través de ANSES. El flamante Plan Aprender Conectados abordaba, en 2018, objetivos vinculados a la alfabetización digital – y no de cierre de tres brechas – y puede comprenderse fácilmente, a través de su lectura, que su dimensión e importancia han sido extremadamente inferiores a las que hemos descripto en esta sección introductoria.

El programa Conectar Igualdad en pleno funcionamiento

Interesa a este trabajo centrado en temas de tecnologías conocimiento intensivas, aquellos desarrollos que ocurrieron durante los años de apogeo del Programa Conectar Igualdad (2010-2015) en particular en la dimensión industrial de manufactura de hardware. Dentro de este plano específico, hacia 2010 la totalidad de las netbooks entregadas por este embrionario programa de política pública eran enteramente importadas. Esta importación masiva de hardware fue cambiando a lo largo de las sucesivas etapas del PCI, y mediante una estrategia activa de sustitución de importaciones (a la vez que utilizando el poder de compra del Estado Nacional) se llegó a que, para 2013, el 100% de las memorias, las placas sintonizadoras ISDB-T y las baterías de celdas fueran de ensamble nacional y el 100% de los cables de alimentación eléctrica y los cargadores de batería sean, también, de fabricación nacional. Es decir, que merced a esta estrategia de sustitución de importaciones, el PCI permitió pensar una industria del hardware a nivel local apalancada mediante el poder de compra del Estado Nacional Argentino. Efímeramente, tal incentivo a la producción local de hardware llegó a durar apenas un lustro. Junto con el PCI, en 2018, desapareció definitivamente su dimensión industrial de manufactura de hardware.

La mayor parte de las empresas manufactureras de netbooks que participaron del PCI estaban ubicadas en Tierra del Fuego, aunque la distribución de órdenes de manufactura de equipos fue siempre equitativa entre las empresas fueguinas y las del continente (Suárez, 2013). Durante los tres primeros años de Conectar Igualdad, la producción

nacional de computadoras portátiles se cuadruplicó, y el 60% de toda esa producción estuvo directamente vinculada al PCI (op.cit.).

Merced al Conectar Igualdad, algunos productores argentinos de netbooks han podido considerar su participación en este programa como capital de trabajo recurrente para planificar, luego, otros proyectos productivos, toda vez que contaban con el ingreso regular que proveniente del PCI. Realizada esta aclaración, el precio final de cada netbook (al año 2013) parecía estar más vinculado al margen que genera, de por sí, la protección a la importación de este tipo de artefactos tecnológicos, que a economías de escala provenientes de un incremento en la producción y a la consecuente reducción de costos locales (Suárez, 2013). Quiere esto decir que no se verifican durante los años del PCI economías de escala que pudiesen haber vuelto más barato el precio del hardware en Argentina – incluso cuando el volumen de producción se incrementó sustancialmente.

A su vez, estas netbooks del Programa Conectar Igualdad (PCI) enfrentaron, en la gran mayoría de los casos, problemas de conectividad a Internet. La conectividad en las escuelas medias argentinas era (y todavía es) por demás heterogénea. Como ya fue mencionado en la sección introductoria de este capítulo, resulta llamativo y curioso que para la elección de la Classmate como eslabón central de la red del PCI no se tuvo en cuenta esta disparidad en términos de conectividad. Si bien se construyeron pisos tecnológicos en los establecimientos educativos que formaron parte del PCI, éstos han funcionado siempre más a nivel local de intranet que como vínculo de acceso a Internet y recursos académicos o plataformas educativas. De acuerdo con el informe de Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) el 43% de estudiantes de la muestra por ellos analizada (proveniente del PCI) manifestó que en sus escuelas nunca han tenido servicio de Internet y el 57% de la misma muestra de estudiantes señaló que este no funciona nunca, o casi nunca, en sus escuelas. La construcción de pisos tecnológicos en un comienzo estuvo a cargo de las Facultades Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional (Fontdevila, 2015) y luego se realizaron licitaciones locales para su construcción, tal como indicó la responsable del PCI por parte de ANSES en la entrevista. Como veremos luego, en el planeamiento del PCI, a las netbooks nunca se las consideró como eslabones de una red o una infraestructura tec-

nológica / educativa. Maestros, estudiantes, autoridades escolares y referentes de la política nunca se despegaron del nivel de los artefactos tecnológicos en el marco del Programa Conectar Igualdad.

Vinculado al hardware y a la falta de conectividad, se encuentra también asociada a este programa, la producción de software. La historia del software de Conectar Igualdad dista bastante del despegue industrial que describimos para la manufactura de netbooks. No se observó durante los años del PCI el desarrollo de (o la vinculación a) plataformas educativas o de recreación conectadas a la existencia del programa, a sola excepción del sector de videojuegos, en particular, de aquellos que utilizan redes sociales y telefonía celular (Suárez, 2013). Luego de que las primeras netbooks tuvieran una versión de Linux que, extrañamente, no se podía modificar (el usuario carecía de acceso al código fuente o a los repositorios de este sistema operativo) se tomó la decisión, en el año 2012 y luego de evaluar varios cursos de acción posibles, de desarrollar un sistema operativo de fuente abierta basado en Debian/Linux llamado Huayra. A partir de 2013 y debido a la presión ejercida por sectores activistas del software de fuente abierta, las netbooks de Conectar Igualdad tuvieron opción de doble booteo (con Huayra y con Windows) y, desde ese entonces, Huayra se volvió el sistema operativo default de las netbooks del programa Conectar Igualdad.

Una entrevistada de EDUC.AR vinculada al PCI indicó que, ante un descuido (léase, no hacer nada) al arrancar su netbook del PCI, el sistema operativo default de la máquina es Huayra (luego de 2013) y ese booteo que conducía al software libre provocaba que debía volver a encender el artefacto, toda vez que nadie en EDUC.AR utilizaba Huayra. Este cándido testimonio da clara cuenta de cómo la voz de los usuarios no fue tomada en cuenta a la hora de configurar el sistema operativo de las netbooks del PCI, a diferencia de lo que ocurrió con otros grupos sociales de magra relevancia para Conectar Igualdad presentados en el párrafo precedente. La voz del activismo quedó configurada dentro de cada netbook a la vez que los usuarios debieron enfrentar un uso algo complejo del artefacto.

El equipo que desarrolló el sistema operativo de fuente abierta Huayra se encargó, también, de realizar relevamientos en escuelas medias del país, a fin de poder definir qué aplicativos eran más útiles y

pertinentes para ser incorporados al disco rígido de las netbooks (e.g. el Geo-Gebra ha sido la aplicación más utilizada y mencionada por los estudiantes, de acuerdo con el informe de Benítez Larghi y Zukerfeld de 2015) tal y como indicó en la entrevista el titular del proyecto de desarrollo de Huayra. Según este mismo entrevistado, hubo un proceso de retroalimentación interactivo (Lundvall, 1988) entre desarrolladores de software y usuarios entre los años 2012 y 2015. De esta manera, fueron incorporadas unas 1500 aplicaciones preinstaladas y configuradas. En el marco de este proceso de incorporación de contenidos a las netbooks del PCI, el foco se puso en que los usuarios puedan volverse, a su vez, productores de tecnología – conforme los postulados de Papert (1991), quien había sido un referente central del programa One Laptop per Child. A tal efecto, este informante de campo comentó que se realizaron capacitaciones y que, a modo de ejemplo, en el interior de la provincia de Salta, los estudiantes hacían usos muy sofisticados de las netbooks (i.e. utilizaban Huayra, y podían discutir de robótica).

Aclarado esto último, según el informe que Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) realizaron para el CIECTI, solo un 2% de la muestra de los estudiantes de este trabajo menciona a Huayra u otras distribuciones de Linux y, en el caso de los docentes, la misma métrica asciende a un magro 4,5%. Dada esta ambivalencia y teniendo en cuenta lo indicado en los párrafos precedentes, queda claro que las voces de los usuarios del PCI fueron incorporadas a la selección de contenidos de software para las netbooks, aunque su importancia fue marginalizada a la hora de elegir el sistema operativo de los mismos artefactos. En la próxima sección de este capítulo explicaremos un incidente que terminó conduciendo a la marginalización de la importancia de la voz de los usuarios en el proceso de selección del sistema operativo de las netbooks del PCI.

Por último, pero no por ello menos importante, cabe considerar que la política ha sido un ingrediente central en el Programa Conectar Igualdad producido no sólo a través de la foto de un funcionario público entregando la netbook número un millón (o ‘n’ millones) sino que, además, ciertas decisiones que fueron tomadas a lo largo de la historia del Conectar Igualdad, propiciaron ingresos y sustituciones en la red del PCI (Latour, 1987) a la vez que ayudaron a con-

formar sus puntos de pasaje obligatorio (Callon, 1981; 1986). Desde una perspectiva de la Teoría del Actor-Red, cabe aclarar que, en pocos casos como en el PCI, las decisiones tecnológicas se encuentran tan fuertemente emparentadas con la dinámica política de la red. A modo de ejemplo, cuando se planificó originalmente el PCI (previo al 2010) eran tan solo emergentes los negocios en la nube y la idea de computadora personal continuaba muy arraigada a la capacidad del disco rígido y el software efectivamente instalado. Durante los años del PCI, empezaron a surgir máquinas con menor capacidad de disco para las que se ha vuelto central la conectividad (e.g. las ultrabooks). Quiere decir esto que la vieja dicotomía del año 2010 entre la OX-1 y la Classmate es algo más que una simple discusión entre diferentes artefactos tecnológicos.

Hay dos redes de actores bien diferenciadas por detrás de cada una de estas netbooks. Conforme han transcurrido los años de Conectar Igualdad, los cursos de acción tecnológicos (y políticos) de este programa se han ido modificando continuamente. Cabe aclarar que, a sola excepción de la incorporación de Huayra y de algunos aplicativos, estos cambios tecnológicos han afectado muy poco al diseño original del PCI y su artefacto tecnológico central.

En este capítulo proponemos, por lo tanto, dar cuenta de que hablar de este programa de gobierno no se reduce meramente a contabilizar la cantidad de netbooks efectivamente entregadas. Tomar una decisión respecto de estos artefactos tecnológicos puede llegar a tener implicancias en términos del sistema operativo, del software o de política pública en un sentido más amplio cf. la idea de racionalidad limitada (Simon, 1947). Por lo tanto, cuando alguien tomó la decisión que estipulaba que el disco rígido de una máquina tenga 500 Giga-Bytes de memoria, también se encontraba diciendo algo acerca de la incorporación potencial de ese artefacto tecnológico al proceso educativo de la escuela media y respecto de los actores que conformarán la red industrial de este programa de gobierno. La famosa pregunta acerca de si ha funcionado o no el PCI (tan popular, por cierto, en foros periodísticos) se debe responder diciendo algo acerca del ensamblado de redes heterogéneas (Law, 2004) por las que han circulado tanto este programa de gobierno como sus actores.

Metodología

Bajo los auspicios de la Teoría del Actor-Red (Callon, 1981, 1986; Latour, 1987) se indagó en este trabajo acerca de qué otros elementos (además de las netbooks contantes y sonantes) se encontraban presentes en el Programa Conectar Igualdad. Merced a esta búsqueda surgieron categorías analíticas como la industrialización por sustitución de importaciones, producción de un sistema operativo de fuente abierta y el fuerte (e inseparable) entrecruzamiento entre política y tecnología en el marco del PCI.

Para la realización de este trabajo se llevaron a cabo entrevistas narrativas (Jovchelovitch y Bauer, 2000; Silverman, 1993) con:

- Trabajadores, directivos y ex trabajadores del Programa Conectar Igualdad (vinculados a ANSES y al Ministerio de Educación).
- Trabajadores a cargo de la construcción del sistema operativo Huaya y de los contenidos pedagógicos de las netbooks.
- Trabajadores de Educ.Ar (Sociedad del Estado que quedó encargada de los contenidos de las netbooks del Conectar Igualdad y del portal educativo oficial del Ministerio de Educación Nacional).

Asimismo, se ha realizado un extenso relevamiento bibliográfico que incluye: a) trabajos académicos y presentaciones de ex directores del Programa Conectar Igualdad donde se narra (fragmentariamente debido a su siempre extensible abarcatividad) la historia del programa, b) una serie de informes académicos sobre la evolución del programa centrados en las dimensiones educativas e industriales del PCI (que han sido ciertamente las más analizadas hasta la fecha) y que fueron oportunamente referenciados a lo largo del texto de este capítulo, y c) tres decretos presidenciales vinculados al PCI, documentos de gestión pública relacionados con el PCI y con otros programas de política pública complementarios, tales como el Plan Nacional de Telecomunicaciones Argentina Conectada.

Análisis de Datos

Todas las entrevistas – que suman algo más de once horas de grabación en total – fueron transcritas por completo, y analizadas discursivamente (Czarniawska, 1997, 1998; Grant et al., 2004).

La mayor parte de las categorías analíticas (Glaser y Strauss, 1967) construidas para este estudio han buscado reflejar la variedad de redes por las que ha circulado tanto el programa Conectar Igualdad como sus actores.

De vital importancia al abordar este proyecto de investigación fue que, tanto para el análisis como para la redacción de este trabajo se procuró siempre no adoptar las posiciones polares que son de público conocimiento acerca del Conectar Igualdad i.e. un elogio desmedido de esta política pública que debe defenderse a cualquier precio y que no ha sufrido fisura alguna a lo largo de su dinámica de elaboración progresiva (por ejemplo, gran parte de la prosa política que abunda en comparativas diacrónicas del libro de Pablo A. Fontdevila *Tecnología y Estado. Los derechos sociales en la Argentina 2003-2015*) y, por otro lado, la condena lapidaria que niega cualquier tipo de beneficio que haya surgido de este programa e.g. la nota periodística del diario Perfil titulada *Menos del 30% de las netbooks del Gobierno se usan en clase* (Diario Perfil, sección Política, 14 de enero de 2015). En ese mismo plano se inscribe también la vasta repercusión periodística (integrando medios gráficos, televisivos, radiales y digitales) que tuvieron las declaraciones del fundador del movimiento Free-software, Richard Stallman, en 2011, durante su visita a la Argentina, cuando rotuló *Condenar a Maldad al Programa Conectar Igualdad* merced a que las netbooks contenían Windows – software propietario de Microsoft – frecuentemente denostado por sus prácticas monopólicas desde los foros Free-Software y Open Source, entre las que se encuentran intentos sucesivos de pervisión de estándares informáticos básicos. Dicho sea de paso, la desatinada incorporación tardía de Huayra a las netbooks del Conectar Igualdad obedece, en gran medida, a este incidente de raigambre periodística.

Debemos aclarar que hemos encontrado numerosos vestigios de estos dos foros de enunciación antagónicos en el discurso de varios informantes de campo. Es por esta razón que todas las categorías

analíticas de este trabajo están basadas en datos concretos – relevados por nosotros mismos o por investigaciones previas que han analizado alguna de las dimensiones aquí trabajadas de Conectar Igualdad. Tales datos, en todos los casos, han sido rigurosamente verificados mediante el despliegue de una estrategia de triangulación (Denzin, 1970, 1975, 1989). Dicho proceso supuso el volver a contactar a algunos entrevistados a efectos de verificar supuestos – y hasta categorías analíticas – provenientes del campo de dudosa confiabilidad.

Dando cabida a las solicitudes de algunos entrevistados, se han anonimizado las identidades de todos los informantes de campo en este estudio. En todos los casos, entendemos que la carencia de referencias personales no interfiere con la comprensión del análisis expuesto en este trabajo.

Política y tecnología se dan cita en la escuela media argentina

¿Qué tipo de desafíos plantea un programa de gobierno como el Conectar Igualdad (PCI) en lo que respecta a las viejas categorías (sobre todo de implementación de política pública de Aguilar Villanueva, 2007)? Para poder responder esta pregunta, en primer lugar, deberíamos explorar qué ha mediado entre diseño e implementación de un programa de alcance nacional como el PCI.

Gran parte de lo reseñado en la primera parte de este capítulo indica claramente que, cada vez que el Conectar Igualdad se ha topado con un obstáculo o con una oportunidad de mejora durante su proceso de implementación, la política alrededor del PCI ha decidido incorporar tal problemática singular al programa de gobierno original e.g. la falta de conectividad en gran parte de las escuelas medias argentinas que terminó en la construcción de pisos tecnológicos para asegurar la conectividad local. Testimonio de esta característica es el capítulo El Programa Una Computadora Un Alumno Más Grande del Mundo escrito en primera persona del plural por parte del primer director del Conectar Igualdad (Fontdevila, 2015). Utilizando la estética del homo faber (propia de los desarrolladores tecnológicos) el primer director del Conectar Igualdad realiza un elogio denodado, en dicho capítulo, del proceso progresivo que supuso incorpo-

rar problemáticas heterogéneas tales como la construcción de pisos tecnológicos, el proceso de aseguramiento del hardware a efectos de que las netbooks no puedan ser vendidas o robadas, el proceso activo de búsqueda de fondos para el PCI, el desarrollo de Huayra y demás subproyectos e iniciativas al programa original.

La literatura clásica sobre implementación de política pública cuestiona fuertemente el agrandar excesivamente el alcance de un programa de gobierno – es decir que, de tan abarcativa su enunciación o diseño, su nivel de realidad (Latour, 1987) al intentar implementar queda resumido a meras expresiones de buena voluntad. Es en este sentido que Bardach (1977) plantea la modalidad *piling on* como un juego frecuente de implementación de política pública pero que, de llevarse a cabo, supone también la proliferación de objetivos múltiples – a la vez que de materialización imposible en muchos casos. Además, esta dispersión de objetivos redundante, muy a menudo, en un costo abultado – y de engorrosa evaluación futura – para el programa de gobierno en su conjunto. El no haber podido desarrollar una cierta lateralidad o interfase en lo que hace a programas de política pública se refiere (el Plan Nacional de Telecomunicaciones Argentina Conectada ha sido, quizás, la iniciativa con mayor grado de complementariedad con el Conectar Igualdad, por más que no ha llegado a implementarse en su totalidad) ha hecho que, progresivamente, el PCI fuera asumiendo funciones y actividades como propias que no estaban detalladas ni planificadas en sus enunciados fundacionales.

Segundo y ya no siguiendo una óptica de implementación de política pública sino a la Teoría del Actor-Red (Callon, 1981, 1986; Latour, 1987) el Conectar Igualdad planteó, desde sus comienzos, un gran problema de enrolamiento dentro del proceso original de traducción que buscó justamente promover. Es decir, la incorporación de netbooks a la escuela media – según esta perspectiva – supone una transformación en lo social – léase, en la escuela media y, más precisamente, en el proceso de enseñanza y aprendizaje. El tema central aquí consiste en preguntarnos qué cambios han ocurrido y cómo han sido integradas las netbooks dentro de los procesos de aprendizaje de la escuela media argentina.

La incorporación de las netbooks a la escuela media argentina supone mínimamente la ocurrencia de tres significativos *troups de force*

(Latour, 1991) de acuerdo con la Teoría del Actor-Red: 1) preguntarnos respecto de los actores involucrados i.e. qué tipo de usuarios (Kline y Pinch, 1996) léase, profesores, estudiantes y autoridades escolares vinculados al proceso de aprendizaje de la escuela media han sido construidos – o configurados (Woolgar et al., 1998) – merced al Conectar Igualdad; 2) uno que atañe al artefacto tecnológico central para este Programa i.e. por un lado, en qué medida y para quiénes las netbooks pudieron haber llegado a volverse caja negra (Latour, 1987) y, por otro, de qué forma la implementación del Conectar Igualdad ha transformado también el diseño y las prestaciones que ofrece una netbook; y 3) en lo atinente al guion (o la relación) que vincula usuarios (supuestamente) configurados y netbooks. Este último proceso de traducción indaga acerca del PCI como programa de política pública con una teleología híbrida. La pregunta central para este último tour de force es si objetivos educativos, políticos, industriales y de ciudadanía digital van a poder alcanzarse o si, necesariamente, el logro de algunos de estos objetivos irá en detrimento de alcanzar otros de estos objetivos.

Algo que complejiza aún más este proceso de traducción triple es la ambigüedad creciente que ha sabido adoptar el programa de acción (Latour, 1991) propuesto a través del Conectar Igualdad y que se encuentra reflejada, más acabadamente, en el tercer proceso de traducción enunciado en el párrafo precedente. Es decir que, teniendo en cuenta la complejidad que implica operar transformaciones en los actores y el artefacto tecnológico, mayor aún será esta complejidad si el programa de acción que los integra persigue, a un mismo tiempo, el cierre de la brecha digital, mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje, conectar a todas las escuelas medias argentinas a Internet, producir localmente las netbooks sustituyendo importaciones y habiendo definido previamente qué netbooks serían producidas y mediante qué proveedores de hardware, y, finalmente, diseñar e incorporar a las netbooks un sistema operativo Open Source.

Esta fuerte ambigüedad teleológica, inherente al Conectar Igualdad como programa de gobierno, ha complejizado y fragmentado los procesos de transformación que pudieron darse. El grado de complejidad que ha ido adoptando progresivamente este programa hizo que su problemática central no se ciña solamente a actores tales como

profesores, directores de escuelas y estudiantes – quienes eran, tácitamente, los mencionados en el decreto fundacional del Conectar Igualdad como sujetos de derecho. Industriales de la informática, gobiernos provinciales, referentes técnicos en las escuelas, capacitadores, programadores, diseñadores y constructores de redes locales y nacionales también han sido interpelados directamente y han formado parte activamente del PCI.

Indica esto que la problemática planteada por el Conectar Igualdad no puede ceñirse a ‘las escuelas’ o ‘las netbooks’. El PCI no puede considerarse, por tanto, localmente situado ni meramente educativo. Incluso el microcosmos de la escuela media posee mayor grado de heterogeneidad que la que se encuentra configurada en los documentos fundacionales del programa.

Realizada esta aclaración, la red de la escuela media argentina en la que el Conectar Igualdad se propuso originalmente intervenir con las netbooks era ya, de por sí, extremadamente heterogénea previo a que comenzara el PCI. Es en este sentido que el abordaje educativo sobre el Conectar Igualdad propuesto por el trabajo de Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) prima facie divide a la población que engloba a la escuela media argentina en una muestra segmentada en siete estratos – teniendo en cuenta el acceso que cada escuela tiene (merced principalmente a su geografía) a tecnologías digitales, infraestructura, transporte, comunicación y agua potable. Supone dicha estratificación que gran parte de las conclusiones que surgen de este trabajo son hijas de la heterogeneidad que la escuela media argentina poseía previo a que el Conectar Igualdad haya entregado la primera netbook.

Un claro ejemplo de lo indicado en el párrafo precedente es que ciertos profesores abordados por el estudio mencionado en el párrafo anterior manifestaron no conocer al referente técnico de la escuela debido a que solo dictan muy pocas horas de clase en un establecimiento educativo dado. Léase, el Conectar Igualdad no ha engendrado a los profesores-taxi, pero cualquier evaluación de los resultados del programa en lo educativo se encontrará directamente afectada por esta ontología – propia de la escuela media argentina. Otro ejemplo vinculado a este mismo aspecto – siguiendo al mismo trabajo – es que los estudiantes suelen poseer mayor capacidad que los profesores para el manejo de las netbooks dentro del ámbito de clase. Esto ha

llevado incluso a que, en algunas escuelas, se prohíba o se limite la utilización de las netbooks. Y, para finalizar, algo similar atañe a los muy bajos niveles de tiempo de concentración que pueden mantener los estudiantes de la escuela media para la lectura de un texto dado. Todas y cada una de estas características de la escuela media argentina impactan de lleno, sesgan y condicionan cualquier evaluación que se pueda hacer de un programa como el Conectar Igualdad.

El Conectar Igualdad no ha contribuido a cimentar ninguna de estas características de la escuela media argentina ex nihilo. Formulada esta aclaración, la incorporación de netbooks al ámbito educativo medio suponía, mínimamente, diagnosticar adecuadamente – y previo al lanzamiento de esta iniciativa – dentro de qué marco de tensiones y heterogeneidades este programa se proponía intervenir. La estrategia de implementación del PCI fue siempre monádica – i.e. en términos generales se entregó la misma netbook con cambios minúsculos (software libre y contenidos académicos) entre 2010 y 2018 – y sin importar demasiado las particularidades de una escuela o de una región geográfica determinada toda vez que la abarcatividad de este programa de gobierno (entendida en términos de entrega concreta de netbooks) ha sido siempre privilegiada por sobre un reconocimiento de singularidades dentro del ámbito educativo medio – de acuerdo con el testimonio de una tomadora de decisión por parte de ANSES.

Realizadas estas aclaraciones, en lo atinente a la dimensión educativa y siguiendo nuevamente el trabajo de Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) el Conectar Igualdad ha tenido un impacto tan heterogéneo como la red (escuela media argentina) dentro de la que se propuso intervenir. A modo de ejemplo, ya comentamos previamente que un referente de la construcción de Huayra comentó en la entrevista que estudiantes de escuelas del interior salteño detentaban ideas muy avanzadas de robótica y hacían un uso intensivo de los artefactos. Esta aseveración no es menos verdadera que la que señala el estudio referido con anterioridad: la mitad de los estudiantes beneficiarios del PCI lleva la netbook a la escuela una vez por semana o aún menos.

Comprendido esto último, podemos aseverar que no es que hay un Programa Conectar Igualdad sino varios, y no hay solo un resultado emergente de este programa, sino que sus resultados son diversos y heterogéneos. Indica esto que adoptar la postura del militante políti-

co fanático o la del Ludita mesiánico no resulta coherente a la hora de realizar una evaluación de impacto del PCI y, menos aún, al planificar posibles iniciativas de política pública vinculadas a modelos de aprendizaje 1:1. Es decir, que en el año 2018 hubiese sido poco conducente formular la pregunta acerca de si hay que dismantelar o continuar con el Conectar Igualdad. Previo a este interrogante deberíamos a) intentar comprender la heterogeneidad de la red por la que circuló este programa y b) replanificar una nueva iniciativa futura teniendo en cuenta dicha heterogeneidad.

Podríamos entonces comenzar a preguntarnos qué tan diverso ha sido el impacto del Conectar Igualdad entre estudiantes, profesores y autoridades escolares – los beneficiarios iniciales de este programa. El marco analítico elaborado por Steve Woolgar et al. (1998) para el estudio de la interacción usuario / tecnología donde se construye una tipología de configuración de usuarios, constituye ciertamente un prometedor punto de partida para abandonar el tratamiento indiferenciado de la heterogeneidad que rodeó al PCI. Woolgar et al., (1998) se propusieron analizar lo incierto de la utilización de la tecnología (abordando el vínculo entre actor y artefacto y no cada una de estas ontologías por separado) vis-à-vis la distancia social hacia el lugar de producción, tanto de la tecnología como de la política pública – en el caso del Conectar Igualdad. La utilización de este marco analítico permitiría, por lo tanto, segmentar políticas públicas de inclusión digital para a) usuarios avanzados para el uso de la tecnología con capacidades para volverse productores de tecnología, b) usuarios configurados merced a la incorporación de las netbooks o por capacidades desarrolladas, previo al (o a la par del) PCI, vale decir, buenos usuarios generalistas de netbooks y c) usuarios pendientes de ser configurados al día de hoy para quienes incluso la mera utilización de una netbook puede volverse altamente incierta y, hasta en algunos casos, se evita completamente su utilización mediante alguna regulación oscurantista localmente situada.

Comprender esto último implica que las políticas en materia de inclusión digital, educativa y social (las premisas de base del Conectar Igualdad) no deberían continuar siendo monádicas – imaginando, de esta manera, un usuario único e indiferenciado – en potenciales reformulaciones de una iniciativa que fomente el modelo de aprendizaje

1:1. La segmentación de usuarios propuesta en el párrafo precedente supone justamente una aproximación posible para abordar la heterogeneidad de este proceso de enrolamiento que vincula a usuarios de la tecnología y al artefacto tecnológico a la vez que desestima también cualquier pauta de planeamiento que suponga usuarios-promedio del sistema educativo y una netbook estándar.

Cabe destacar también que algunas iniciativas en este sentido ya se han realizado. Por ejemplo, una entrevistada que trabaja en Educ.Ar y que estuvo a cargo del diseño de los contenidos que llevaban las netbooks comentó que se redactaron manuales, revistas en papel y se produjeron cursos on line que acompañaban la llegada de las netbooks a una escuela. Este material detallaba qué cosas podían llegar a hacerse con las netbooks. La única diferencia de esta iniciativa con el análisis aquí propuesto es que no hemos encontrado rastros de segmentación alguna de usuarios en lo realizado por Educ.ar en términos de diseño de contenidos. Lo propuesto en este capítulo sugiere que una potencial nueva iniciativa 1:1 debe realizar un giro autorreferencial evaluando lo realizado previamente y que el producto de dicho proceso se vuelva, justamente, insumo central para la planificación futura. Es decir, para que ocurran transformaciones en lo educativo, en lo social, o en lo industrial, a las transformaciones se las debe producir y planificar activamente teniendo en cuenta esta interactividad. Lamentablemente, estas últimas no ocurren por arte de magia tras el arribo de un artefacto tecnológico a un establecimiento educativo. Ni tampoco vale la pena maravillarse demasiado porque un grupo de estudiantes ha producido contenido digital gracias a la netbook, tal como indicó una referente de Educ.Ar. Conocer a los usuarios, posee un gran potencial de mejora para un programa como el Conectar Igualdad y evitaría realizar incorporaciones innecesarias a los artefactos como Huayra.

Una propuesta que surgió en la entrevista con un ex trabajador de ANSES, a este respecto sería, por ejemplo, mejorar la conectividad de las escuelas como máxima prioridad del programa en su conjunto y no utilizar la netbook como bitácora de contenido digital, como sugería la entrevistada de Educ.Ar en el párrafo precedente. El mismo objeto (la netbook) de esta manera, permitiría realizar tareas de investigación (actividad que off-line es algo más compleja, aunque

algunos estudiantes utilizaron la conectividad de teléfonos celulares a modo suplir dicha carencia) y, de esta forma, atender mucho mejor los objetivos propuestos originalmente para el PCI. El mismo objeto (la netbook) podría volverse móvil-inmutable (Latour, 1986) u objeto de frontera (Star y Griesemer, 1989) vinculando, de esta forma, varias redes de pertenencia. Y esta incorporación de actividades de investigación a la educación transformaría, ciertamente, el proceso de aprendizaje de las escuelas medias – centrado, en Argentina, en el modelo asimétrico-magistral hasta el tiempo presente.

Una consideración final y proveniente de los testimonios de profesores y estudiantes citados en el trabajo de Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) y que apareció también – repetidas veces – en nuestras entrevistas con trabajadores y tomadores de decisión de INDEC y de Educ.Ar, está relacionada con la idea de la netbook qua TIC y, más que nada, qua soporte de clase. Si bien una entrevistada de Educ.ar destacó que los estudiantes eran capaces de producir material (documentales y novelas) gracias a las netbooks que luego podía reutilizarse como contenido digital de las netbooks a ser repartidas en un futuro, poco o nada se dice ni se ha dicho de la netbook como transformadora del proceso de enseñanza y aprendizaje. Implica esto último que el contar con netbooks sugiere – entre otras cosas – la posibilidad de repensar dinámicas de aula, contenidos, programas de cursos, espacios de investigación a través de un mejor acceso a bibliografía y producción personal o grupal. Sin la incorporación de las netbooks del Conectar Igualdad estos temas hubiesen resultado imposibles de ser modificados dentro de una agenda educativa nacional o provincial.

Más aún, nuevas netbooks distribuidas a lo largo de toda la escuela media argentina deberían haber permitido relocalizar el planeamiento del Conectar Igualdad (cuando menos en su dimensión educativa) partiendo desde el nivel de los artefactos del párrafo anterior hacia el de una infraestructura tecnológica educativa nacional (cf. Ciborra y Hanseth, 1998) o el de un incipiente gran sistema tecnológico (Hughes, 1987). Sólo un entrevistado (ex trabajador del PCI por parte de ANSES) hizo mención a un gran sistema tecnológico y cómo planificar de aquí en adelante desde el rol del constructor / ensamblador del sistema y no planificar siempre desde el nivel de las netbooks o desde las escuelas del Conectar Igualdad. La vasta mayor parte del

resto de los entrevistados y las fuentes documentales relevadas han sólo centrado fuertemente su discursividad alrededor de las netbooks y las escuelas.

De existir algo que permita cambiar los procesos de la escuela media argentina mediante la incorporación de tecnologías digitales en el marco de lo planteado en los párrafos precedentes, ese algo ciertamente debe poseer las características de un gran sistema tecnológico; no las de netbooks aisladas. La mentada tecnología conocimiento-intensiva a nivel educativo se encuentra a nivel del conglomerado de netbooks; no en un artefacto tecnológico singular que puede ser considerado un estándar de mercado y cuyos componentes se pueden fácilmente reemplazar para hacer industrialización por sustitución de importaciones. Gran parte de los entrevistados que otros investigadores han – y nosotros hemos – relevado parecen tener una idea limitada y/o parcial acerca de este potencial beneficio emergente de contar (ahora) con un gran sistema tecnológico centrado en la distribución de netbooks dentro del ámbito educativo. A ese conglomerado de netbooks sí se le pueden asociar nuevas prácticas educativas y formas organizacionales diferentes a lo que hemos visto en la escuela media convencional para así poder hablar de capacidades dinámicas (Teece et al., 1997). Intentar este tipo de asociatividad con netbooks aisladas sólo conduce a mejoras ubicuas y de escasa visibilidad.

Entre el milagro que aún aguardamos y las capacidades dinámicas

Podríamos preguntarnos entonces ¿qué ha hecho que no ocurra el anhelado milagro? ¿Por qué a pesar de haber repartido 5,4 millones de netbooks, exiguas transformaciones pueden verificarse a nivel de sus beneficiarios? ¿Qué hubiese sucedido si el PCI hubiera sido exitoso en términos de, por ejemplo, cierre de la brecha digital, pero hubiese fracasado a la hora de transformar la escuela media y sus procesos de enseñanza y aprendizaje?

El foco del Conectar Igualdad siempre ha sido múltiple y algunos interlocutores entrevistados para este trabajo han hecho incluso un elogio explícito – a la vez que inexplicable, a nuestro entender – de dicha multiplicidad (Deleuze y Guattari, 1988). Es precisamente esta

multiplicidad la que ha hecho, por ejemplo, que decisiones tecnológicas que se tomaron en el marco del PCI tengan mucho de políticas, o que decisiones educativas tengan, luego, correlatos industriales e infraestructurales específicos. A modo de ejemplo, la ausencia de conectividad en muchas escuelas condiciona el uso del hardware, pero también lo hace la formación de algunos docentes o el contenido digital que viene ya cargado con la netbook. La producción industrial de netbooks evoluciona de forma exponencial durante los años del PCI y se produce una industrialización mediante sustitución de importaciones, aunque esto no se refleja en los precios del hardware ni en una diversidad inexistente de netbooks para diferentes tipos de usuarios. Esta multiplicidad, propia de una iniciativa como el PCI, condiciona. Cada vez que desde la política se intenta direccionar esta multiplicidad, los resultados obtenidos son múltiples y, algunos de ellos, ciertamente diferentes a los esperados originalmente por la política.

Segundo, la beneficiaria original de este programa de política pública, la escuela media argentina, es una organización sobradamente heterogénea. Por ende, los resultados del Conectar Igualdad o de cualquier otro programa de gobierno direccionados hacia esta escuela media darán siempre cuenta de dicha heterogeneidad. Quiere decir esto que es muy difícil rastrear dentro del PCI avances o dificultades que surjan de informantes de campo provenientes de la escuela media argentina, toda vez que gran parte de estos testimonios hablan más acerca de la escuela media argentina que del PCI como estrategia de intervención dentro de esa red educativa q.v. los profesores-taxi. Escuelas con diferentes grados de acceso a tecnologías digitales, heterogéneas infraestructuras escolares y más próximas o más lejanas a recursos educativos complementarios recibieron la misma netbook. Si bien esto no necesariamente constituye algo a ser corregido, queda claro, también, que cualquier evaluación de resultados que se haga del PCI dirá más acerca de la heterogeneidad de la escuela media argentina que de este programa de gobierno.

Para finalizar, el análisis de este capítulo no puede jamás inscribirse dentro de las dos posturas en boga para hablar acerca del Conectar Igualdad. Este estudio no da cuenta de un elogio desmedido del programa que debe defenderse a cualquier costo, ni tampoco se trata de una crítica despiadada que anula cualquier tipo de beneficio que

pueda surgir a partir de las diferentes ramificaciones viz. educativas, industriales, de conectividad, y políticas que ha desarrollado (con mayor o menor talento) el PCI. Si bien este programa ha tenido numerosas falencias en su proceso de implementación que fueron señaladas en el texto precedente, cabe aclarar también que para un 10% de los estudiantes de la muestra del informe de Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) su netbook del PCI constituye la única computadora en el hogar del estudiante y, en los estratos muestrales menos favorecidos (léase, con menor acceso a tecnologías digitales, infraestructuras escolares más precarias, distante de recursos educativos complementarios y con menor acceso a agua potable) de este mismo estudio, esa cifra asciende al 25%. Aclarado esto último, la acción más abyecta referida al Conectar Igualdad que ha ocurrido en tiempo reciente, en lo que a política pública se refiere, es haber desmantelado el programa sin siquiera haber llegado a comprender los múltiples resultados que emanaron de este programa de gobierno. Cabe entonces aclarar, despojados del Conectar Igualdad, nada puede ser replanificado ni, mucho menos, mejorado.

Del análisis aquí realizado debe entenderse la necesidad de rediseñar y replanificar regularmente cierto tipo de estrategias de intervención o de planes de abordaje que fueron configurados en momentos del surgimiento del Conectar Igualdad. Modificada sustancialmente, a la vuelta de los años, la complejidad del programa original, el plan del PCI continuó siendo mayormente el mismo e.g. evaluando de forma reduccionista la eficiencia del programa en su conjunto en términos de netbooks entregadas. Componente, este último, muy afín al paladar político e industrial, pero al mismo tiempo y notoriamente, descuidando las aristas educativas y de conectividad. Esto conforma una de las paradojas centrales del Conectar Igualdad: su propio carácter múltiple y la influencia que ejerce sobre dicha la multiplicidad la heterogeneidad de la escuela media se incrementa susceptiblemente entre 2010 y 2015, a la vez que, en lo que respecta a sus métricas de desempeño, aumenta el reduccionismo o la trivialización durante el mismo intervalo temporal.

Por lo tanto, se sugiere, humildemente, desde este estudio: i) definir acabadamente una serie de programas de acción que den acabada cuenta de la heterogeneidad inherente a la escuela media argentina, léase, separar esta iniciativa en varios programas de gobierno, ii) a tal

fin, deberían ser construidas métricas de desempeño diferenciadas que hablen de la gestión hacia el interior de diferentes estratos de escuelas medias argentinas – se puede utilizar la estratificación muestral de Benítez Larghi y Zukerfeld (2015) o cualquier otra que nos saque de una inexistente ‘escuela media tipo’, a la vez que teniendo en cuenta a diferentes tipos de usuarios, iii) relocalizar la centralidad de esto múltiples programas de acción desde el nivel artefactual de la netbook y hacia una infraestructura tecnológica educativa nacional o un gran sistema tecnológico, pendiente todavía de diseño y que podría adentrarse, por ejemplo, en la selección de una plataforma educativa adecuada para cada estrato de escuela media, y iv) planificar esta infraestructura educativa nacional en términos de capacidades dinámicas, estipulando prácticas de aprendizaje a ser desarrolladas y formas organizacionales que acompañen su despliegue.

Anhelamos el resurgimiento futuro de un programa 1:1 semejante al Conectar Igualdad toda vez que sus méritos superan holgadamente los déficits detallados en este estudio – de hecho, la Provincia de Buenos Aires ha lanzado recientemente, en marzo de 2023, el Conectar Igualdad Bonaerense. Quizás las narrativas políticas (aún en boga) de igualdad de oportunidades puedan incorporar algunos de las consideraciones que han sido detalladas en este capítulo. Son necesarios nuevos programas 1:1 (un estudiante / una netbook) pero que tengan en cuenta el carácter múltiple de una iniciativa de esta estirpe, el carácter heterogéneo de la escuela media y que no existe un usuario-tipo indiferenciado. Es decir, 1:1 pero pensado en términos de multiplicidad: heterogeneidad. Sólo si nos apartamos de ‘las netbooks’ y de una indiferenciada ‘escuela media argentina’ podremos hablar de una tecnología conocimiento-intensiva que se parece más a una infraestructura tecnológica educativa nacional que a la mera acumulación de artefactos.

Agradecimientos

Los autores quieren brindar una nota de reconocimiento y agradecimiento a Luciano Assisi, quien ha realizado la ardua (y nunca bien reconocida) tarea de desgrabación de las entrevistas analizadas en este capítulo.

Bibliografía

- AGUILAR VILLANUEVA, L. (2007). *La implementación de las políticas*. Ciudad de México: Miguel Ángel Porrúa.
- BARDACH, E. (1977). *The implementation game*. Cambridge, MA: MIT Press.
- BENDER, W.; Kane, C.; Cornish, J. y Donahue N. (2012) *Learning to change the world. The social impact of One Laptop per Child*. New York, NY: St. Martin's Press.
- BENÍTEZ LARGHI, S.; Zukerfeld, M. (2015). *Flujos de conocimientos, tecnologías digitales y actores sociales en la educación secundaria. Un análisis socio-técnico de las capas del Programa Conectar Igualdad*. Documento desarrollado para el CIECTI (Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación). Mimeo.
- CALLON, M. (1981). "Struggles and Negotiations to Define What Is Problematic and What Is Not". En K.D. Knorr, R. Krohn and R. Whitley (comps.) *The social process of scientific investigation*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- CALLON, M. (1986). "Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay". En J. Law (comp.) *Power, action and belief. A new sociology of knowledge?* London: Routledge & Keegan Paul.
- CIBORRA, C.U.; Hanseth, O. (1998). From tool to Gestell. Agendas for managing the information infrastructure. *Information Technology & People* 11 (4), 305-327.
- CZARNIAWSKA, B. (1997). *Narrating the Organization*. London: The University of Chicago Press.
- CZARNIAWSKA, B. (1998). *A Narrative Approach to Organization Studies*. Qualitative Research Methods Volume 43. Thousand Oaks, California: Sage.

- DEGRATI, M., Furfaro A. y Scolnik H.D. (2007) Análisis de Software y Hardware de la computadora OLPC. Informe Marzo 2007 Proyecto OLPC. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Mimeo.
- DELEUZE G. y Guattari F. (1988). *A thousand plateaus. Capitalism and schizophrenia*. London: The Athlone Press.
- DENZIN, N. K. (1970). *The research act*. Chicago: Aldine Publishing.
- Denzin, N. K. (1975). *The research act. A theoretical introduction to sociological methods*. New York: McGraw Hill.
- DENZIN, N. K. (1989). *Strategies of multiple triangulation. The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. New York: McGraw Hill.
- DERTHICK, M. (1972). *New towns in-town*. Washington, DE: The Urban Institute.
- FONTDEVILA, P. (2015). *Tecnología y estado. Los derechos sociales en la Argentina 2003-2015*. Sáenz Peña, Prov. de Buenos Aires: Eduntref.
- GLASSER, B.G.; Strauss, A.L. (1967). *The discovery of grounded-theory: Strategies for qualitative research*. New York, NY: Aldine.
- GRANT, D.; Hardy, C.; Oswick, C.; Putnam, L.L. (comps.) (2004). *The Sage handbook of organizational discourse*. London: Sage.
- HUGHES T.P. (1987). "The evolution of large technological systems". En W. E. Bijker; T. P. Hughes; T.J. Pinch (comps). *The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- JOVCHELOVITCH, S.; Bauer, M. (2000). "Narrative interviewing". En M. Bauer; G. Gaskell (comps.). *Qualitative researching with text, image and sound. A practical handbook*. London: Sage.
- KLIN, R.; Pinch, T. (1996) Users as agents of technological change. The social construction of the automobile in the rural United States. *Technology and Culture* 37 (4): 763-795.
- LATOUR, B. (1986). Visualization and cognition: Thinking with eyes and hands. *Knowledge and society: Studies in the sociology of culture past and present*. Vol. 6, 1-40. Greenwich, CT: JAI.
- LATOUR, B. (1987). *Science in action*. Milton Keynes: Open University Press.
- LATOUR, B. (1991). "Technology is Society Made Durable". En Law, J. (comp.). *A Sociology of Monsters: Essays on Power, Technology and Domination*. London: Routledge.

- LATOURE, B. (1999). "On recalling ANT". En Law J.; Hassard J. (comps). *Actor Network Theory and After*. Oxford and Keele: Blackwell and the Sociological Review.
- LATOURE, B. (2005). *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*. New York, NY: Oxford University Press.
- LAW, J. (2004). *After Method. Mess in Social Science Research*. London: Routledge (Taylor & Francis Group).
- LUNDVALL, B.A. (1988). "Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation". En: Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, G.; Soete, L. (comps.). *Technical change and economic theory*. London: Pinter.
- MACKENZIE, D. (1990). *Inventing Accuracy: A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance*. Cambridge, MA: MIT Press.
- MINTZBERG, H.; Westley, F. (2001). Decision making: It's not what you think. *MIT Sloan Management Review*, 89-93.
- NEGROPONTE, N. (1996). *Being Digital*. New York, NY: Vintage.
- PAPERT, S. (1991). "Situating constructionism". En Harel, I. and Papert S. (comps.). *Constructionism*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- PRAHALAD, C.K. (2004). *The Fortune at the Bottom of the Pyramid. Eradicating Poverty through Profits*. Pennsylvania: Wharton School Pub.
- SILVERMAN, D. (1993). *Interpreting Qualitative Data: Methods for Analysing Talk, Text and Interaction*. London: Sage.
- SIMON, H. A. (1947) *Administrative behavior: A Study of Decision-making Processes in Administrative Organization*. New York: The Macmillan Company.
- STAR, S.L. y Griesemer, J. (1989) Institutional ecology, 'Translations', and Boundary objects: amateurs and professionals on Berkeley's museum of vertebrate zoologies. *Social Studies of Science* 19(3), 387-420.
- SUÁREZ, D. (2013). Aproximación al impacto del programa en la reconfiguración de la industria TIC. Documento desarrollado para el Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad, en el marco del proyecto "Evaluación de impacto del Plan Conectar Igualdad", OEI. Mimeo.
- TEECE, D. J.; Pisano, G. y Shuen, A. (1997) Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal* 18 (7), 509-533.
- THOMAS, H. (2008). "Estructuras cerradas versus procesos dinámicos. Trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico". En H. Thomas; A. Buch (Comps.). *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*. Bernal, Prov de Buenos Aires: UNQ Editorial.

WOOLGAR, S.; Vaux, J.; Gomes, P.; Ezingard, J.; Grieve, R. (1998). Abilities and competencies required, particularly by small firms, to identify and acquire new technology. *Technovation* 18 (8/9), 575-584.

Fuentes

Decreto PEN N° 459/10. (2010). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación

CAPÍTULO 2

CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DEL SECTOR ELECTRÓNICA DE CONSUMO EN ARGENTINA: FABRICACIÓN DE RESPIRADORES EN EL MARCO DEL COVID-19

Florencia Urcelay

UNLU

Introducción

En marzo del año 2020, el brote por COVID-19 surgido en China hacia finales del año anterior fue declarado pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Su impacto afectó en términos sociales y económicos de manera profunda al mundo entero. En el caso de Argentina, las consecuencias socioeconómicas de la crisis sanitaria y de las políticas de restricción a la circulación, tales como el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO), recayeron sobre un escenario macroeconómico afectado por el endeudamiento externo, la alta inflación y una reducción del Producto Bruto Interno (PBI) del 12% entre 2011 y 2019, además de altas tasas de pobreza, indigencia y trabajo no formal (ONU, 2021).

El sector industrial local no estuvo ajeno a dichas dificultades y se sumaron, según la actividad, caída del consumo, restricciones a la producción y dificultades en el abastecimiento de insumos y materias primas. Sin embargo, algunos actores llevaron adelante iniciativas para dar respuesta a diversos problemas sanitarios, entre ellos, la fabri-

cación de insumos críticos. En el contexto de mayores restricciones por el ASPO, Leistung, una empresa especializada en la fabricación de respiradores, se asoció con Mirgor (compañía radicada en Tierra del Fuego y dedicada a fabricar productos electrónicos de consumo, línea blanca -televisores, celulares, acondicionadores de aire, entre otros-, equipos electrónicos y partes con alto valor agregado para la industria automotriz) para aumentar la producción de estos dispositivos de cuidados intensivos.

El objetivo del presente trabajo es analizar las capacidades tecnológicas del sector electrónico de Tierra del Fuego a partir del estudio de caso de Mirgor S.A.C.I.F.I.A. (en adelante Mirgor), una empresa dedicada a la electrónica de consumo y electrónica para la industria automotriz que llevó adelante un proyecto de fabricación de insumo crítico hospitalario, en el cual no tenía experiencia productiva. El análisis de las capacidades tecnológicas de la empresa fueguina no solo permite observar el accionar de las empresas argentinas en pos de brindar asistencia y buscar soluciones en el período más crudo de la emergencia sanitaria, sino también dar cuenta del valor estratégico de las firmas de Tierra del Fuego, más allá de la calificación corriente como industrias ensambladoras.

El marco teórico utilizado responde a un enfoque heterodoxo de la economía que le otorga gran relevancia a la tecnología en el desempeño de las empresas. Para el análisis de las capacidades tecnológicas se sigue la clasificación realizada por Lall (1992) de capacidades de inversión, de producción y de vinculación, además de las categorías de capacidad de absorción desarrollada por Cohen y Levinthal, (1989; 1990) y capacidad de adaptación por Miles y Snow (1978). El análisis se basó en una metodología cualitativa de análisis documental y se llevó adelante a través de la revisión bibliográfica del tema y de fuentes documentales y publicaciones oficiales, legislación y fuentes periodísticas, y entrevistas a informantes claves.

El estudio se organiza en ocho secciones, siendo la primera esta introducción. En la segunda sección se desarrolla el marco teórico-metodológico. La tercera sección presenta una evolución de los principales indicadores económicos durante la pandemia por COVID-19 y una descripción de las respuestas del sector manufacturero local a los desafíos impuesto por la crisis, además de las características prin-

cipales del artefacto producido entre Leistung y Mirgor. En la cuarta sección se presentan algunas características de Leistung. En la quinta sección se explican las características del complejo electrónico de Tierra del Fuego y su dinámica reciente. En la sexta sección se exponen las características de Mirgor, la empresa objeto de estudio. Desde el marco teórico propuesto, en las secciones sexta y séptima se analizan las capacidades tecnológicas y dinámicas puesta en valor por Mirgor para la consecución del proyecto llevado adelante. Por último, se presentan las consideraciones finales del artículo.

Marco teórico-metodológico

La tecnología ha sido abordada de diversas maneras por la teoría económica a lo largo del tiempo. El enfoque neoclásico primó hasta la década de 1970 y postuló que la tecnología era un recurso exógeno a las empresas y de libre disponibilidad en el mercado. De esta manera, su importancia dentro del desempeño de las firmas era escasa debido a que el rendimiento de una tecnología sería el mismo, más allá de las características específicas de la empresa en la cual se incorporara. Sin embargo, desde mediados del siglo XX se conformó una nueva corriente que alcanzó protagonismo a fines de la década de 1970 y principios de 1980 y transformó la concepción sobre la tecnología. Esta línea heterodoxa, que se nutrió de los estudios previos de Schumpeter (1978 [1911]; 1983 [1942]) le otorgó un papel clave a la tecnología en el desempeño de las empresas. Esta nueva corriente expuso el carácter endógeno de la tecnología, criticó la idea de su libre disponibilidad y confirió una gran importancia a los procesos de aprendizaje, al conocimiento tácito para el manejo de la tecnología y a la trayectoria y características propias de las empresas en el análisis.

De esto último se desprende que el uso de una tecnología requiera su adaptación en la empresa y, para ello, se despliegue la generación de conocimientos específicos y se cuente con capacidades tecnológicas propias para poder hacer uso de esa tecnología incorporada e incluso mejorarla. Los estudios sobre capacidades tecnológicas han sido fructíferos en las últimas décadas, no solo en firmas de países desarrollados, sino también se han desplegado importantes análisis sobre las ca-

capacidades tecnológicas necesarias para la incorporación de tecnología generada en países centrales por parte de países periféricos, como por ejemplo los trabajos de Jorge Katz sobre la realidad latinoamericana (1978; 1984).

Dentro de los vastos estudios sobre capacidades tecnológicas, Sanjaya Lall (1992) propuso una clasificación de las mismas según su función: capacidades de inversión, de producción y de vinculación. Las capacidades de inversión son aquellas habilidades para identificar y obtener la tecnología para diseñar, construir y equipar la puesta en funcionamiento de un nuevo proyecto o instalación. Por su parte, las capacidades de producción hacen referencia a las habilidades que permiten, tanto absorber tecnología comprada como también usar, mejorar y generar tecnología propia y, simultáneamente, abarcan prácticas de control de calidad, operación y mantenimiento, hasta investigación, diseño e innovación. Por último, las capacidades de vinculación son las habilidades de intercambiar información, tecnologías y capacidades entre empresas, incluyendo proveedores, consultores, empresas de servicios, institutos tecnológicos, entre otros.

Por otra parte, la capacidad de absorción fue un concepto introducido por Cohen y Levinthal (1989; 1990) que refiere a la habilidad de las empresas “para identificar, asimilar y explotar el conocimiento del entorno”, parte de la capacidad innovadora de una organización. De esta manera, la capacidad de identificar, asimilar y explotar conocimiento externo les permite a las firmas adaptarse a los cambios del entorno y alcanzar ventajas competitivas.

La capacidad de adaptación conlleva ir más allá de los tradicionales modelos de eficiencia y comprende el desarrollo de habilidades organizacionales para enfrentar cambios. Según Miles y Snow (1978) incluyen modificaciones y/o adaptaciones a productos, servicios, tecnología y organización, además de la habilidad de una firma para identificar y capitalizar oportunidades.

Los conceptos presentados permitieron analizar el comportamiento de la empresa Mirgor y la relación establecida con Leistung en un contexto excepcional como la emergencia sanitaria por COVID-19. En el plano metodológico, el análisis se basó en una técnica cualitativa de análisis documental y se llevó adelante a través de la revisión bibliográfica reciente del tema y el análisis de documentos

y publicaciones oficiales de las empresas, revistas especializadas y de divulgación, periódicos, legislaciones y la realización de entrevistas a especialistas y actores claves.

La emergencia sanitaria por COVID-19 y las respuestas del sector privado local

El 11 de marzo del año 2020 la OMS declaró como pandemia el brote por coronavirus (COVID-19) iniciado en diciembre de 2019 en Wuhan, provincia de Hubei, China. Al día siguiente, el presidente argentino Alberto Fernández firmó el Decreto de Necesidad y Urgencia (DNU) N°260/20 que dispuso la Emergencia Sanitaria a nivel local por el término de un año. La normativa implicó la adopción de un conjunto de medidas para contener la propagación del nuevo coronavirus: declarar al Ministerio de Salud como autoridad de aplicación de la emergencia; dar protección a insumos críticos; suspender por treinta días los vuelos internacionales provenientes de las zonas afectadas; y el aislamiento obligatorio por catorce días para personas con condición de casos sospechosos, con confirmación, contacto estrecho o que hayan arribado al país desde las zonas afectadas.

Tras el aumento de casos confirmados y muertes se declaró, mediante el DNU N°297/20, el ASPO a nivel local entre el 20 y el 31 de marzo para toda persona habitante o que se encuentre de forma temporaria en el país, con excepción de veinticuatro categorías de actividades y servicios denominados ‘esenciales’. A lo largo de todo el año 2020 y parte del 2021, el ASPO incluyó ampliaciones de plazo como así también flexibilizaciones en relación a las actividades consideradas esenciales, permisos para el movimiento de la población y contempló diferencias regionales y/o provinciales al establecerse un sistema de fases en relación a la circulación del virus.

La pandemia por COVID-19 conllevó cambios bruscos en materia sanitaria, social y económica. En el último plano, la caída del PBI interanual para Argentina en 2020 fue del 9,9%, la mayor caída anual desde la crisis de 2001/2002 (INDEC, 2021b). Esa contracción económica se dio en el marco de una crisis de restricción externa que sostenía una caída del PBI per cápita por ocho años consecutivos.

Además, la tasa de pobreza se ubicaba en 2019 en 35,5%, la inflación en 53,8% anual y la deuda pública en un 89% del PBI para el mismo año (ONU, 2021).

La caída de la actividad económica en 2020 se explica por el impacto negativo que tuvo la pandemia en la oferta y la demanda debido a las restricciones a la circulación, la incertidumbre sobre el futuro y la baja del comercio internacional. Esto condujo a la retracción del consumo privado (-13,1%), de la inversión (-13%) y de las exportaciones (si bien la caída fue del 17,7%, el saldo comercial fue superavitario por la baja del 18,1% en las importaciones). Con excepción de los servicios públicos residenciales (electricidad, agua y gas) y las actividades de intermediación financiera, la caída de la actividad a nivel sectorial fue generalizada, siendo los sectores ligados al turismo (hoteles y restaurantes -49%), actividades culturales y recreativas (-39%), construcción (-23%) y servicio doméstico (-19%) los más afectados (ONU, 2021; INDEC, 2021b).

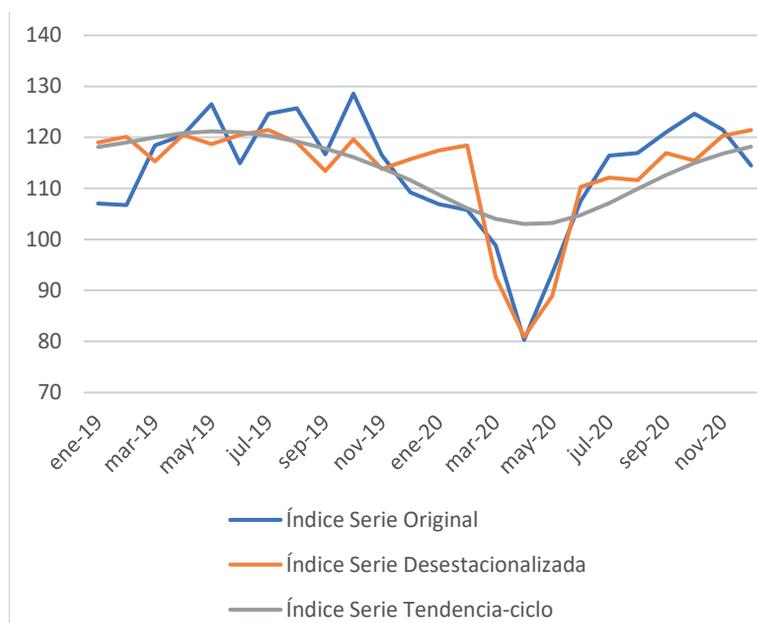
A pesar de las múltiples medidas de emergencia que el Estado llevó adelante para paliar las consecuencias económicas y sociales de la crisis, hubo una importante pérdida de empleos, con impacto asimétrico entre sectores, siendo las más afectadas las inserciones laborales informales (la población ocupada disminuyó un 5,8% entre 2019 y 2022 y el empleo asalariado no registrado lo hizo en un 16,7%, mientras que los registrados en un 4%, según INDEC (2021b).

En lo que respecta a la evolución del sector industrial durante el 2020, hubo una gran reducción en la cantidad de empresas existentes en el país. Según los datos de CIFRA (2021), la cantidad de empleadores registrados se redujo de manera neta en 20.973 firmas en 2020, registro similar al período crítico 2018-2019 con una baja de 20.083 empleadores. El derrumbe de la actividad industrial no solo quedó ilustrado por ese dato, sino también por la caída del Índice de Producción Industrial Manufacturero (IPI) con una variación acumulada interanual negativa del 7,6%.

Como se observa en el Gráfico N°1, hubo una enorme caída del IPI manufacturero a partir del mes de marzo de 2020, y en el mes de abril se registró el índice más bajo del año. A partir de allí los niveles de actividad fueron en crecimiento y hacia julio empezaron a acercarse a los valores previos a la pandemia. Incluso hacia diciembre de 2020, el

IPI creció un 4,9% con respecto a diciembre del año anterior. Sin embargo, aún con el valor del último mes del 2020, el año cerró con una caída del 7,6% promedio interanual acumulado con respecto al 2019, lo que representó la mayor contracción desde 2016 (Carmona, 2021). Los sectores más perjudicados en relación a la variación interanual acumulada fueron los textiles, prendas de vestir, cuero y calzado (-28,5%), automotores y otros equipos de transporte (-22,9%) y minerales no metálicos y metálicas básicas (-18,9%), según INDEC (2021a).

GRÁFICO I – IPI MANUFACTURERO NIVEL GENERAL, ENERO 2019-DICIEMBRE 2020



Fuente: elaboración propia en base a INDEC (2021a)

Durante la pandemia por COVID-19, y a pesar de la evolución desfavorable del año 2020, el sector privado en Argentina no permaneció ajeno a las iniciativas científicas y tecnológicas en la búsqueda de res-

puestas a la crisis sanitaria. Un informe del Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación (2020) da cuenta de las experiencias públicas y privadas que se desarrollaron en los primeros meses de la emergencia sanitaria, y a partir de esos datos es posible dimensionar las respuestas surgidas desde diversos sectores a los desafíos impuestos por la crisis.

En general, las iniciativas desplegadas durante los primeros meses de la pandemia en el sector privado fueron proyectos de desarrollo tecnológico. Entre estos se distinguieron, por un lado, las innovaciones incrementales que realizaron las firmas sobre productos o servicios existentes para mejorarlos y responder a las nuevas necesidades, tales como son los proyectos de mejoramiento de softwares y empresas de confección para la elaboración de kits de indumentaria médica o barbijos, entre otras. Por otro lado, en varias firmas se llevaron adelante reconversiones temporarias de sus líneas de producción para fabricar nuevos artefactos, entre los que se destacan las empresas automotrices y autopartistas que iniciaron la fabricación de máscaras y dispositivos médicos (CIECTI, 2020). Los desarrollos que se analizan en el presente capítulo corresponden a este segundo conjunto de casos, debido a que Mirgor¹ transformó su línea productiva para adecuarla al desarrollo de respiradores artificiales y soportes respiratorios de emergencia.

Por último, cabe destacar que estas iniciativas catalogadas como privadas en muchos casos resultan experiencias mixtas (público-privadas), ya que originadas en un sector encontraron apoyo en el otro e involucraron vínculos entre diversos actores, tales como organismos estatales, entes descentralizados, institutos o universidades nacionales, empresas, entidades empresarias, universidades privadas y distintas ONG, entre otras.

1 Mirgor, en colaboración con TOYOTA y el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) también diseñó y fabricó el prototipo de un soporte mecánico respiratorio de emergencia.

LUFT3 AP: el respirador fabricado entre Leistung y Mirgor

Un respirador artificial se ocupa de la ventilación del paciente, es decir, es un medio externo que permite controlar el ingreso y egreso de aire de los pulmones de personas en estado crítico. El artefacto lo hace a partir de presiones que se regulan mediante diferentes ‘modos ventilatorios’ seleccionables, en los que intervienen variaciones de presión (en el respirador y en la caja torácica), volumen, concentración de oxígeno y tiempo inspiratorio, entre otras variables.

La ventilación mecánica suplanta la presión de la atmósfera por la del artefacto, lo que permite intervenir en la gradiente de presión entre el respirador y la caja torácica. No es un mecanismo distinto a la ventilación espontánea, pero permite el control de la respiración en presión positiva. A su vez, la ventilación puede ser invasiva, cuando el paciente es sedado y entubado, y no invasiva, como en el caso del uso de las máscaras o sondas de aspiración, por la cual la vía aérea no está invadida.

En el caso del respirador LUFT3 AP fabricado por Leistung y Mirgor, es un dispositivo ventilatorio previsto para ser usado en unidades de terapia intensiva y destinado a pacientes adultos y pediátricos. Está diseñado para adaptarse a los requerimientos de cada paciente y utilizarse tanto en modalidad de ventilación invasiva como no invasiva. Ofrece una gama completa de modos ventilatorios que permiten el monitoreo de la condición del paciente.

Entre sus características, integra una pantalla táctil con una interfaz intuitiva que le permite al operador conocer y configurar la información vinculada a los parámetros de control, las variables de monitoreo y el estado de las alarmas. También posee un sistema de control del ventilador (basado en un microcontrolador) que regula la presión, el volumen o el flujo de la respiración a presión positiva entregada al paciente, así como la fracción de oxígeno inspirado en base a los valores de las variables de control seleccionados (Leistung, 2020).

FIGURA I - RESPIRADOR LUFT3 AP FABRICADO POR LEISTUNG Y MIRGOR

Ventilador para Cuidados Intensivos

| NUEVO **LUFT3 AP** |

LUFT3

- Apto para pacientes adultos y pediátricos.
- Configuración personalizada de la interfaz con el usuario.
- Cálculo y monitoreo de ventilación según el peso teórico del paciente.
- Oxigenoterapia de alto flujo.
- Módulo de mecánica ventilatoria con índice de estrés.
- Compensación automática de fugas.
- Batería con 6 horas de autonomía.
- Mínimo costo de mantenimiento.



The image shows the Leistung LUFT3 AP ventilator, a white medical device on a four-wheeled stand. It features a large, black touchscreen display on top, which shows various graphs and data. To the left of the main unit, there is a green manual resuscitator (Ambu-bag) connected to the system. The device is surrounded by various tubes and connectors. The background is a light gray gradient.

L **LEISTUNG**

Fuente: Leistung, página web. <https://leistungargentina.com.ar/es/productos/>

Además, cuenta con un sistema de alarmas con mensajes de avisos y advertencias, los cuales permiten que el operador tome conocimiento de ciertos acontecimientos que requieren de su atención, ya sea en el paciente o en el equipo. Entre otras de sus características, posee una batería interna que cuenta con una autonomía de seis horas para ventilación por períodos cortos o durante fallas en el suministro eléctrico, ya que el equipo se alimenta de la red eléctrica.

El respirador LÜFT3 AP se fabricó en Tierra del Fuego desde junio hasta agosto del año 2020 y alcanzó la producción de 1.836 unidades (Mirgor, 2021). La fabricación de este modelo en la planta de Leistung en Córdoba prosiguió hasta agosto de 2021.

Leistung: empresa local líder en dispositivos médicos para ventilación pulmonar

Leistung es una empresa de la provincia de Córdoba dedicada al diseño, fabricación y comercialización de dispositivos médicos para ventilación pulmonar, entre los que se destacan respiradores para unidades de terapia intensiva, respiradores para transporte de pacientes y máquinas de anestesia.

Creada en el año 1984, en la actualidad es una de las dos empresas dedicadas a este rubro en Argentina, junto a Tecme, también ubicada en la Provincia de Córdoba. Leistung también cuenta con una planta en Jaragua do Sul, Brasil, fundada en el año 2000, dedicada exclusivamente al mercado local brasileño y es una de las tres empresas del sector en ese país. Además, posee una oficina comercial en la ciudad de Buenos Aires y otra en Miami, Estados Unidos.

Previo a la pandemia por COVID-19, la capacidad de producción de la empresa en Córdoba era de 30 equipos mensuales (entre respiradores para terapia intensiva, respiradores de tránsito y mesas de anestesia). Desde fines de enero y principio de febrero de 2020 comenzó a recibir pedidos de jurisdicciones e instituciones públicas y privadas, tanto de Argentina como del exterior que multiplicaron la demanda. Hasta ese momento exportaban el 30% de su producción, pero comenzaron a recibir pedidos de países que hasta el momento no le compraban como Italia, España, China o Estados Unidos y de mu-

chos países latinoamericanos. Asimismo, se le presentaron proyectos para vender su tecnología, pero no pudieron llevarse adelante porque la atención de Leistung estaba dirigida al aumento de las unidades fabricadas de los respiradores para terapia intensiva.

Según la Gerenta General de Leistung, Silvina Grasso, la empresa asumió “el compromiso de ser parte de la solución de este problema sanitario” y en su planta multiplicó la producción mensual por cuatro, además de agregar un turno de trabajo para responder al nuevo contexto. En paralelo a ello, estableció una alianza con Mirgor desde el mes de marzo de 2020 para alcanzar mayores niveles de producción (Leistung cuadruplica producción, 2020).

El 31 de marzo de 2020, por medio de la Resolución N°695/20, el Ministerio de Salud de la Nación centralizó la entrega de respiradores para controlar su demanda, en el marco de su figura como autoridad de aplicación de la emergencia sanitaria y la protección de insumos críticos. Esto implicó que los fabricantes locales debían poseer autorización para concretar cualquier operación de venta. En el caso de Leistung, su producción tuvo como destino único el Ministerio de Salud hasta el mes de julio de 2020, fecha a partir de la cual pudo dirigir parte de su stock a otros demandantes e incluso, destinar parte del mismo para su exportación.

La centralización de la demanda por parte del Ministerio de Salud de la Nación resultó una solución para Leistung debido a la demanda extraordinaria y desordenada que recibió desde instituciones públicas y privadas y diferentes niveles de gobiernos tanto a nivel nacional como del extranjero.

A partir del aumento extraordinario de la demanda, Leistung estableció un contrato de fabricación con la empresa Mirgor, acuerdo que permitió fabricar en las instalaciones de Tierra del Fuego 1.282 respiradores entre los meses de junio y septiembre. En total, durante el 2020, se fabricaron 1.836 unidades, de las cuales 380 fueron exportadas a Bolivia, Colombia, Nicaragua y El Salvador (Mirgor, 2021), luego de finalizada la demanda centralizada del Ministerio de Salud de la Nación. El modelo fabricado fue el LUFT3 AP, respirador de cuidados intensivos apto para pacientes adultos y pediátricos. El mismo obtuvo aprobación de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) y se encuentra

inscripto en el Registro Nacional de Productores y Productos de Tecnología Médica (RPPTM).

La vinculación entre ambas empresas implicó el intercambio de conocimientos específicos, la creación de una nueva línea productiva en Tierra del Fuego, el aumento de proveedores locales e internacionales y la transformación del artefacto al ser construido con los insumos disponibles en el contexto de crisis sanitaria mundial sin perder las certificaciones sanitarias, entre otros procesos.

El complejo electrónico de Tierra del Fuego

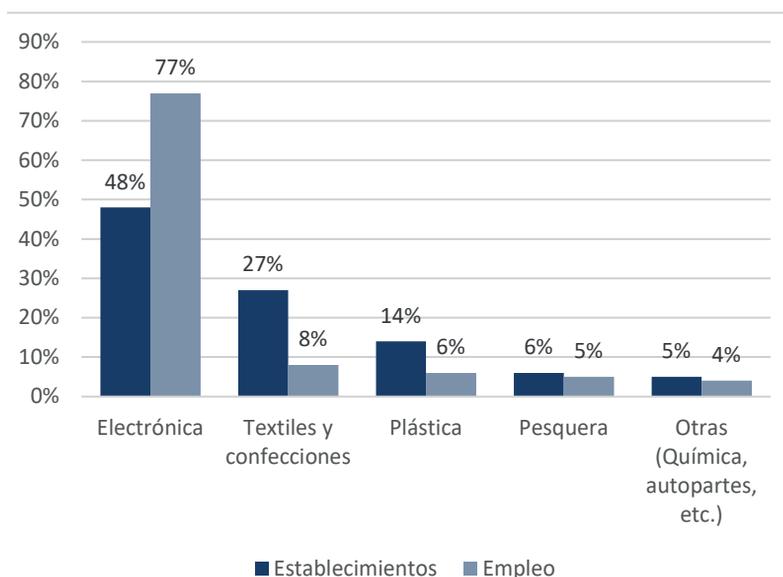
En el año 1972 se creó un régimen fiscal y aduanero especial para el entonces Territorio Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. Esta decisión del Gobierno Nacional persiguió dos objetivos generales: en términos socioeconómicos, estimular el crecimiento poblacional y alentar el desarrollo de actividades productivas en la isla y, en términos geopolíticos, integrar ese territorio al área continental y reafirmar la soberanía sobre el extremo más austral del país.

La Ley N° 19.640 de 1972 estableció un régimen de promoción económica general, es decir que, cualquier actividad económica realizada en el Territorio Nacional de Tierra del Fuego recibía amplias exenciones impositivas y aduaneras. A pesar de las múltiples alteraciones a lo largo de cincuenta años, los beneficios principales como la eximición del pago de impuestos nacionales -Impuesto al Valor Agregado (IVA) e Impuesto a las Ganancias, y la liberación de aranceles a las importaciones y exportaciones se mantuvieron como los pilares del régimen promocional.

Asimismo, la Ley N° 19.640 definió, por un lado, el Área Aduanera Especial (AAE), que comprende todo el territorio de la Isla Grande de Tierra del Fuego y se caracteriza por un tratamiento aduanero más favorable al comercio exterior. Por otro lado, delimitó como Área Franca al resto del territorio de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (excluida la Isla Grande de Tierra del Fuego), dentro de la cual no rige un sistema arancelario sobre importaciones y exportaciones. En la actualidad, prácticamente la totalidad de la actividad económica se concentra en el AAE.

En lo que respecta a la actividad industrial dentro del régimen, la normativa posterior a la ley general ha conformado lo que se denominó un ‘sub-régimen industrial’, es decir, el conjunto de leyes, decretos y resoluciones que se aplican a las empresas industriales, las cuales deben cumplir por dichas normas, la presentación y aprobación de proyectos de producción y destinar sus productos al territorio continental nacional. La diferencia con otras actividades económicas aprobadas por el régimen promocional radica en que el acceso al sub-régimen lo autoriza el Gobierno Nacional, a su vez que el mismo ha definido y regula los procesos productivos y el fomento de determinados productos.

GRÁFICO 2 – SECTORES INDUSTRIALES PROMOVIDOS POR EL RÉGIMEN DE PROMOCIÓN ECONÓMICA Y FISCAL EN TIERRA DEL FUEGO (2021)



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Economía (2022)

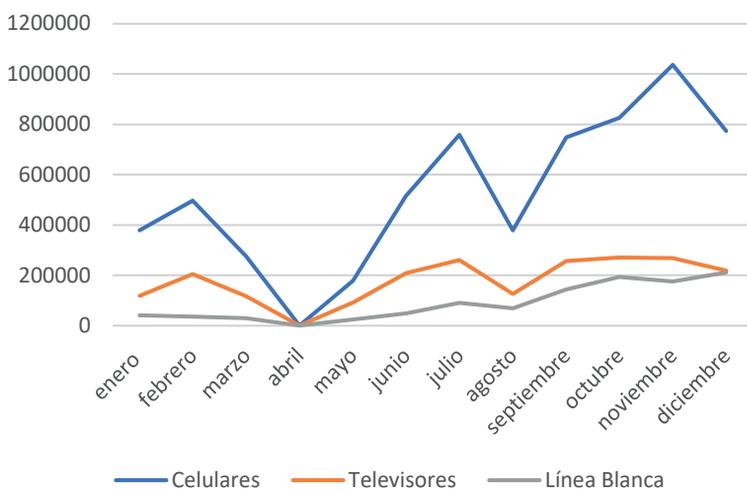
El foco en este trabajo se ha puesto en la industria electrónica de consumo por su importancia estructural dentro del régimen. Como puede observarse en el gráfico N°2, la industria electrónica concentra el 48% de los establecimientos industriales bajo protección y el 77% del empleo. Diversos estudios incluyen diferentes artefactos dentro de la categoría de electrónica de consumo, pero en general engloba la producción de televisores, teléfonos celulares, computadoras portátiles, cámaras fotográficas y de video, aires acondicionados, hornos microondas y pequeños electrodomésticos que suelen denominarse como ‘línea blanca’.

Las empresas fueguinas productoras de electrónica de consumo se especializan en la etapa final de montaje y utilizan diseños y materias primas importadas, es decir, se insertan en un eslabón dentro de la cadena global de valor del sector (Retamar, 2020). Debido a este carácter, el complejo ha recibido críticas relacionadas a la actividad de ensamblado sin valor agregado y por el considerable costo fiscal que conllevan los beneficios. El análisis propuesto en este artículo sobre las capacidades tecnológicas locales, generadas en una empresa partícipe del complejo electrónico fueguino, permite complejizar esas caracterizaciones realizadas a priori. Asimismo, cabe resaltar el peso que tiene esta industria sobre la dinámica de la provincia en términos de empleo y de servicios (Schorr y Porcelli, 2014), como así también el nivel de las instalaciones industriales fueguinas -comparables en equipamiento, modernización y productividad con plantas a nivel mundial-, y la calidad de los procesos productivos desarrollados que “ha propiciado homologaciones por parte de marcas líderes mundiales y ha posibilitado la certificación de altos estándares internacionales” (Retamar, 2020: 12).

En relación a la regulación del régimen promocional, las empresas radicadas deben ‘acreditar el origen’ de sus productos en el Área Aduanera Especial y para ello demostrar que realizan una ‘transformación sustancial’ de los insumos y materias primas que utilizan y/o que se adecuan a los procesos productivos específicos aprobados, tal como lo indica el Decreto PEN N° 522/95 (Borruto, 2012; Álvarez, 2013). Esto significa que los beneficios promocionales se aplican a los productos considerados originarios del AAE, lo que conlleva el cumplimiento de estrictos parámetros de certificación regulados por el Estado.

En consonancia, Romano, Kataishi y Durán (2018) indican que lo que articuló, dio dirección y forma al régimen de promoción industrial ha sido un ‘complejo entramado normativo’ que abarca 2.424 leyes, decretos y resoluciones, más allá del establecimiento de las líneas generales que asentó la Ley N° 19.640.

GRÁFICO 3 – EVOLUCIÓN MENSUAL DE LA PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS ELECTRÓNICOS DURANTE 2020, EN UNIDADES



Fuente: elaboración propia en base a Gobierno de Tierra del Fuego (2021)

Cabe destacar que, mediante el Decreto PEN N° 727 de octubre de 2021 se prorrogó la vigencia del sub-régimen industrial hasta el 31 de diciembre de 2038. Dicha normativa, también incluyó la apertura de nuevos proyectos industriales o readecuaciones de los existentes para la producción de artículos electrónicos, componentes y tecnologías conexas hasta el 31 de diciembre de 2023. Además, estableció un sistema de financiamiento mediante el Fondo para la Ampliación de la Matriz Productiva Fueguina (impulsado por el Ministerio de

Desarrollo Productivo y creado por el Decreto PEN N°725/21), a través de aportes mensuales de las empresas alcanzadas por el régimen, para la expansión del entramado productivo local, así como mejoras en la competitividad.

Con respecto al sector electrónico de consumo durante la pandemia por COVID-19, las empresas debieron suspender su producción durante cincuenta días en promedio, desde el 17 de marzo de 2020 (el aislamiento social obligatorio comenzó a regir en la provincia de Tierra del Fuego tres días antes que a nivel nacional). Esto implicó que los valores de producción del mes de abril fuesen nulos para todos los artículos electrónicos de consumo, tal como se observa en el Gráfico N°3.

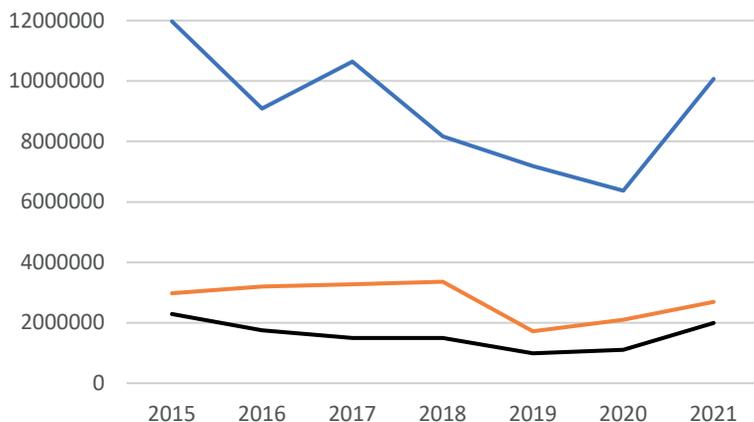
Sin embargo, y a pesar del freno productivo por el ASPO, la variación interanual con respecto a los valores de 2019 resultó positiva, tanto en términos de producción como de empleo en el sector electrónico fueguino durante el año 2020. La variación interanual del promedio de empleos en el sector electrónico se incrementó un 22% (es decir 1.343 puestos de trabajo en promedio más que en 2019). Asimismo, la producción de televisores se incrementó un 21% y la línea blanca, un 11%. Por su parte, la fabricación de teléfonos celulares se redujo en un 11% (Gobierno de Tierra del Fuego, 2021).

A partir de los datos del Gráfico N°4 es posible advertir que la cantidad de unidades producidas de los principales productos electrónicos de consumo no descendió de manera abrupta en todos los rubros en el año 2020, sino que la baja en la fabricación de celulares y línea blanca se registró desde 2015. En lo que respecta a televisores, se mantuvo estable la producción hasta 2018 (año en que se disputó el Mundial de Fútbol, variable de importancia en la adquisición de este tipo de artefactos) y cayó hacia 2019. Esto sugiere que las consecuencias de la pandemia por COVID-19 y del aislamiento social obligatorio, como el freno productivo de las empresas del sector y la crisis nacional de consumo y empleo, no explican la evolución de este sector en su totalidad.

Por el contrario, la contracción en los volúmenes de producción está relacionada con el viraje en términos de política económica que llevó adelante el Estado Nacional a partir de diciembre de 2015. La restauración de la valorización financiera como patrón de acumula-

ción durante el gobierno de la alianza Cambiemos (Basualdo, 2017) tuvo su correlato en el sector electrónico de consumo a través de un conjunto de medidas como, la reducción progresiva de los impuestos internos a los productos electrónicos que liquidó la alícuota diferencial para los bienes originarios de Tierra del Fuego (Decreto N°979/17); la eliminación de restricciones a la importación (licencias no automáticas); y en especial la eliminación de los derechos de importación a las computadoras portátiles, tablets y sus componentes (Decreto PEN N°117/17).

GRÁFICO N°4 - EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS ELECTRÓNICOS (2015-2021)



Fuente: elaboración propia en base a Gobierno de Tierra del Fuego (2020; 2022)

Esta última medida, que implicó la reducción en el año 2017 del arancel a la importación de computadoras, notebooks y tablets del 35% al 0%, junto con la discontinuidad del programa Conectar Igualdad, llevaron a que estos productos dejaran de fabricarse en el AAE. Enton-

ces, de 359.580 computadoras portátiles fabricadas en 2015 se pasó a 0 unidades entre 2018 y 2019 (Gobierno de Tierra del Fuego, 2020).

En lo que respecta a los años 2020-2021, el Gráfico N°4 permite observar una recuperación de la producción en los tres tipos de artefactos ilustrados, con especial aumento en los teléfonos celulares. A pesar de que las unidades fabricadas en 2021 no lograron recuperar los valores de 2015, el crecimiento en el 2021 dio cuenta de una rápida recuperación tras los frenos productivos impuestos por la pandemia. Dato ilustrativo de esa evolución fue el aumento de la mano de obra ocupada en el sector electrónico provincial en un 16% de variación interanual promedio entre 2020 y 2021 (Gobierno de Tierra del Fuego, 2022).

El caso de Mirgor: de electrónica de consumo a equipos médicos de emergencia

Mirgor es una sociedad con asiento en la provincia de Tierra del Fuego, líder junto a Newsan S.A. y BGH del sector electrónico de consumo amparado por el sub-régimen industrial fueguino. Fue creada en el año 1983 en Río Grande para proveer sistemas de climatización a la industria automotriz, y a partir de 2004 inició un proceso de diversificación productiva hacia la fabricación de acondicionadores de aire para el hogar. Desde ese entonces, Mirgor creció por la cantidad de empresas adquiridas y por los sectores en los que invirtió.

En la actualidad, el grupo Mirgor está compuesto por nueve empresas, además de una sociedad en la República Oriental del Uruguay con el fin de canalizar nuevas inversiones en América Latina denominada Mirgor International S. A., creada en el año 2020 (Mirgor, 2022). Las actividades principales a las que se dedica el grupo empresario incluyen productos electrónicos de consumo y línea blanca (y su comercialización minorista o retail), productos electrónicos para la industria automotriz, servicios logísticos, actividad inmobiliaria, comercialización agropecuaria y sociedades de inversión, tal como se detalla en la Tabla N°1.

TABLA N°I – SOCIEDADES CONTROLADAS POR EL GRUPO MIRGOR A
DICIEMBRE DE 2020

Sociedades controladas	Participación del grupo Mirgor en el capital ordinario	Actividad principal	Año de adquisición/ creación
Interclima S.A.	100	Servicios logísticos e inversora en sociedades	1995
Capdo S.A.	100	Inmobiliaria	2006
IATEC S.A.	100	Productos electrónicos	2009
GMRA S.A.	100	Comercializadora minorista	2017
Holdcar S.A.	100	Inversora en sociedades	2019
Famar Fueguina S.A.*	100	Productos electrónicos para la industria automotriz	2019
Electrotécnica Famar S.A.C.I.I.E.	100	Productos electrónicos para la industria automotriz	2019
Brightstart Argentina S.A.	100	Productos electrónicos	2020
Brightstart Fueguina S.A.	100	Productos electrónicos	2020
Mirgor Internacional S.A.	100	Inversora	2020

*FAMAR FUEGUINA S.A. y ELECTROTÉCNICA FAMAR S.A. se encontraban dentro de los activos de HOLDCAR S.A. Fuente: elaboración propia en base a Mirgor (2021)

Las compañías adquiridas recientemente por Mirgor son Brightstar Argentina S.A, dedicada a la reparación, servicio técnico y comercialización de productos electrónicos de consumo y Brightstar Fueguina S.A., especializada en la fabricación y comercialización de teléfonos celulares de las marcas SAMSUNG y LG.

La adquisición de ambas compañías le permitió a Mirgor mejorar su posición competitiva en la telefonía celular. Según estimaciones previas a la adquisición de ambas empresas, Mirgor pasaría a fabricar cerca del 100% de los teléfonos SAMSUNG del país y el 60% de los teléfonos celulares de Tierra del Fuego. Junto a su principal competidor (Newsan S.A. quien fabrica MOTOROLA) representan el 90% de los celulares comercializados en Argentina, según la Comisión Nacional de Defensa de la Competencia (s/f).

Sobre la composición accionaria de Mirgor, es principalmente una sociedad de propiedad familiar, en la cual IL Tevere S.A. cuenta con el 48,3% del capital social y el 61,6% de los votos. El 51,7% de acciones restantes cotizan en la Bolsa de Comercio de Buenos Aires desde el año 1994, de las cuales el 21,5% pertenecen actualmente al Fondo de Garantía de Sustentabilidad de la Administración Nacional de Seguridad Social (ANSES) (Moody's Local, 2021).

Declarada la pandemia por COVID-19 y tras el cierre productivo por el aislamiento social obligatorio, Mirgor llevó adelante dos proyectos de fabricación de equipamiento médico en colaboración con otros actores privados que dan cuenta, por un lado, del accionar del sector industrial local durante la emergencia sanitaria y, por otro lado, de las capacidades tecnológicas de la empresa fueguina para llevar a cabo con éxito ambas iniciativas. El objetivo de este trabajo es analizar las capacidades desarrolladas por Mirgor que le permitieron desarrollar y fabricar artefactos que no producía hasta ese momento, en un contexto de crisis.

Capacidades tecnológicas en la industria electrónica de consumo local

La declaración de la pandemia por COVID-19 movilizó al ámbito industrial para llevar adelante proyectos de innovación como respuesta

a los problemas asociados a la crisis sanitaria. Entre las iniciativas del sector productivo en Argentina se destacó la fabricación de alcohol en gel por parte de empresas cerveceras y de cosméticos; mascarillas y equipos de protección para profesionales de la salud por empresas automotrices; test de diagnósticos rápido de COVID-19, estructuras e infraestructura hospitalaria y, como en el caso estudiado en este trabajo, el desarrollo de respiradores artificiales (CEPAL, 2020).

El complejo electrónico de Tierra del Fuego tuvo la oportunidad de demostrar las capacidades tecnológicas desarrolladas en su labor de fabricación de productos electrónicos de consumo y para la industria automotriz en pos de proyectos tecnológicos de suma importancia para enfrentar la crisis sanitaria. La complejidad tecno-productiva de este sector fabril va más allá del ensamblado de partes importadas, e implica el desarrollo de conocimientos y capacidades que estuvieron a disposición en el diseño y fabricación de insumos médicos en el año 2020.

En Mirgor, fue clave su capacidad de producción (Lall, 1992) para abarcar proyectos en los que no tenía ninguna experiencia previa. En este sentido, la expertise en la fabricación en serie de grandes volúmenes permitió la multiplicación de la oferta de respiradores tras el convenio con la firma Leistung. Sin embargo, para alcanzar el resultado de más de 1.800 respiradores, con un pico de fabricación de 60 unidades por día, se desplegaron diversas acciones que dieron cuenta de las capacidades de la firma fueguina, más allá de sus prácticas de operación y control corrientes.

En primer lugar, la fabricación de respiradores implicó el armado de una nueva línea de montaje, diseñada especialmente para este artefacto, la cual estuvo completa en cuarenta y cinco días. La vinculación entre Mirgor y Leistung fue intensa desde la constitución del acuerdo de manufactura para esta tarea. En segundo lugar, el proceso de fabricación conllevó un trabajo arduo de colaboración e innovación. El ingeniero Eduardo Koroch, director industrial de Mirgor expresó:

Hay que pensar que este producto no fue concebido para la fabricación en serie. Era un producto donde se tardaba 35 o 40 horas para hacerlo, con un personal técnico específico, y hubo que llevarlo para que lo fabrique un operario con las capacidades básicas. Hubo que diseñar

ese proceso para hacerlo en serie y fue un trabajo muy fuerte, realmente brillante de este equipo (Fabricación de respiradores, 2020).

Al respecto, en el proceso de fabricación resultó clave el área de testeo y calidad, una actividad en la que las empresas fueguinas se destacan al cumplir con altos estándares para satisfacer las demandas de las marcas internacionales para las cuales fabrican.

En el caso del testeo de los respiradores, Mirgor detectó que Leistung analizaba las válvulas más importantes del artefacto en treinta y ocho minutos por válvula, por lo que desarrolló un dispositivo que testeaba en treinta segundos y luego, se lo cedió a la empresa cordobesa, ejemplo del diseño y desarrollo de un medio de fabricación para una industria ajena a la propia.

IMAGEN 2 – RESPIRADORES EN PROCESO DE PRUEBA EN LA PLANTA DE MIRGOR



Fuente: Télam (2020)

La excepcionalidad de los procesos llevados adelante y de las capacidades puestas en valor radica en que se desplegaron en el contexto de una emergencia sanitaria mundial. Las capacidades dinámicas de absorción y adaptación posibilitaron que los proyectos se sustancia-

ran, a pesar de las restricciones por el ASPO, las modificaciones en el comercio internacional y la urgencia con que se necesitaban.

El aporte fundamental de Leistung fue el know how en el desarrollo y fabricación de respiradores y la tecnología con que trabajaba. La capacidad de absorción (Cohen y Levinthal, 1989; 1990) de Mirgor le permitió asimilar y explotar ese conocimiento especializado para completar los procesos de diseño de la línea de montaje, del proceso de fabricación y de nuevos medios de producción.

Asimismo, el propio artefacto fue modificado para cumplir con la nueva forma de fabricación. El modelo LUFT3 AP fue diseñado por Leistung, en colaboración con Mirgor, es decir, no fue un diseño acabado y trasladado a otra provincia de Argentina. Esto se debió a las restricciones para la adquisición de ciertos insumos, como así también el aporte de Mirgor en el diseño de los elementos para las plaquetas electrónicas. Como consecuencia, la firma fueguina superó una auditoría por parte de la ANMAT para que los respiradores no perdieran la certificación con que contaba Leistung.

El desarrollo de nuevos procesos y equipamientos, como así también las pruebas de calidad y auditorías de los nuevos artefactos médicos implicaron la puesta en juego de las capacidades de adaptación de Mirgor, no solo a las consecuencias de la pandemia en términos de restricciones sociales y económicas, sino también a la fabricación de artefactos no producidos hasta el momento y en un contexto de dificultades logísticas y de provisión de insumos.

Los respiradores fueron diseñados atendiendo a los insumos disponibles. Para alcanzar un proceso de producción que lograra un respirador cada diez minutos, las firmas analizaron y seleccionaron las modificaciones posibles:

Hubo un trabajo en conjunto muy grande entre la ingeniería de Leistung y la nuestra para poder entender cuáles eran los componentes críticos desde el punto de vista del abastecimiento y qué modificaciones podíamos hacerle al producto para que mantuviera la certificación de ANMAT. (Alejandro Vizzari, gerente Ejecutivo de Investigación y Desarrollo de Mirgor, citado en Beresovsky, 2021: 52-54).

También en la selección de los proveedores ambas firmas aunaron sus capacidades para la elección de setenta entidades, la mitad del extranjero, que pudieran suministrar cuatrocientos componentes.

En suma, las capacidades tecnológicas desarrolladas por Mirgor para la electrónica de consumo y automotriz le permitieron al grupo empresario responder a la emergencia sanitaria con el desarrollo de insumos críticos, en colaboración con otros actores privados. Las capacidades dinámicas como las de absorción y adaptación se pusieron a prueba en la realización de dos proyectos de suma importancia en un contexto crítico. Asimismo, la capacidad de producción de Mirgor dio cuenta de la complejidad alcanzada por las empresas electrónicas de Tierra del Fuego en la inclusión de prácticas que incluyen investigación, diseño, innovación y control de calidad.

Articulación entre actores privados en el contexto de la emergencia sanitaria

Para la ejecución del artefacto analizado, la capacidad de vinculación, en términos de Lall (1992), fue determinante. La habilidad de intercambiar información, tecnología y capacidades entre empresas resultó ser un eslabón fundamental en la concreción de los proyectos.

En Mirgor, la vinculación con firmas internacionales y proveedores locales y extranjeros es parte fundamental del trabajo como fabricante de electrónica de consumo y para el sector automotriz. En el caso del sector electrónico de consumo, las empresas radicadas en Tierra del Fuego bajo el régimen de promoción establecen diferentes tipos de licencias de fabricación con las empresas líderes mundiales. Si bien se especializan en las etapas finales (montaje de componentes, ensamblado y prueba de los equipos), las casas matrices imponen exigencias y requerimientos “en términos de procesos o productos, como así también de gestión, cuyo cumplimiento, repercute en una mejora de la competitividad estructural de la cadena de valor” (Altube, 2015: 18).

Según Alonso, “en Mirgor, aprendimos de cada una de las marcas internacionales con las cuales trabajamos. Toda esta experiencia además se condensó en un proceso de fabricación propio que está paten-

tado. Por ejemplo, fabricamos celulares para Samsung. Pero no sólo eso, sino que estamos entre las fábricas más eficientes de Samsung en el mundo y la nuestra de Tierra del Fuego es la única que no es propia de ellos” (Wahnon, 2021: 1).

Sin embargo, en el caso de Leistung no existía una colaboración previa con Mirgor. La realización del convenio entre ambas sociedades surgió en Mirgor, tras la creación de un Comité de Emergencia que evaluó diferentes alternativas de colaboración. La elección de la firma cordobesa respondió a su especialización en un artefacto tecnológico con alto valor agregado. En este caso, la capacidad de vinculación mutua implicó el entrecruzamiento de conocimientos, capacidades y de personal entre ambas firmas.

Por otra parte, Mirgor también desplegó sus capacidades de vinculación en la elección de los proveedores locales y extranjeros durante el diseño de los respiradores. Según el Ing. Eduardo Koroch,

Nosotros decidimos hacer el desarrollo de la fabricación y pusimos al servicio todas las capacidades de la fábrica en Tierra del Fuego, nuestros departamentos de compra y la logística para traer todos los componentes (...) el 70% de las piezas son de origen nacional (Fabricación de respiradores, 2020).

El desafío en la selección de las partes del respirador que debían modificarse y los proveedores que los suministrarían radicó en no perder la certificación de ANMAT alcanzada por Leistung.

La capacidad de vinculación de Mirgor se tradujo en un intercambio de know how con Leistung y de conocimientos en procesos de producción, compra, logística, testeo y calidad entre ambas firmas. Dichas capacidades operaron en el plano local en ambos proyectos sustanciados, como así también en el plano internacional mediante la inclusión de proveedores de partes. La distinción de las empresas fueguinas líderes como Mirgor, radica en la acumulación de experiencia en la fabricación bajo estrictas normas de control y calidad que le permitió insertarse en las cadenas globales de la industria electrónica.

Consideraciones finales

El sector productivo en Argentina no permaneció ajeno a la crisis desatada por la pandemia en el año 2020 y llevó adelante proyectos de innovación para dar respuesta a problemas asociados a la emergencia sanitaria. El accionar de Mirgor permite observar ese compromiso y las relaciones establecidas entre diferentes actores del empresariado local para cumplir con los objetivos propuestos.

La fabricación en serie de los respiradores artificiales con la firma Leistung da cuenta de la capacidad de producción de estas empresas, en un contexto de aislamiento social y restricciones en el comercio internacional. De allí que las capacidades dinámicas de absorción y adaptación resultaran claves, ya que les permitieron a las compañías implementar estrategias para desplegarse en entornos cambiantes y explotar oportunidades, en este caso en el escenario de una crisis global.

El análisis de una empresa beneficiaria del régimen de promoción industrial de Tierra del Fuego permite revelar la complejidad de los procesos tecno-productivos que allí ocurren, las capacidades tecnológicas desplegadas, como así también las capacidades de vinculación desarrolladas a partir de las relaciones establecidas con marcas líderes a nivel mundial, en el caso de la electrónica de consumo. Esto resulta relevante porque permite poner en tensión las ideas corrientes sobre la baja dificultad existente en los procesos industriales de ensamblado.

Las discusiones en torno al régimen promocional de Tierra del Fuego suelen girar alrededor de dos cuestiones fundamentales sobre su costo: 1- su peso en relación a las importaciones industriales totales y 2- las pérdidas fiscales generadas por las exenciones impositivas. De manera sorpresiva, la problematización de estos puntos no ha sido abordada de manera exhaustiva en el ámbito de académico. Esto contribuye a enriquecer tanto en el espacio político como en las ideas que alimentan el sentido común sobre la industria fueguina al considerarla una actividad ensambladora, deficitaria y de bajo contenido tecnológico. Si bien estos problemas deben ser analizados de manera más exhaustiva, el presente capítulo permitió dar cuenta de las capacidades tecnológicas que adquirieron las empresas de electrónica de consumo en la actualidad.

Bibliografía

- ALVAREZ, M. (2013). “Sistematización y comprensión de los alcances del régimen especial fiscal y aduanero de la Ley N° 19.640 y normas reglamentarias”. Consejo Federal de Inversiones.
- ALTUBE, L. (2015). “Proyecto metodología para el monitoreo y evaluación permanente del estado de competitividad de los productos electrónicos de la provincia de Tierra del Fuego”. Consejo Federal de Inversiones.
- BASUALDO, E. (2017). *Endeudar y Fugar: Un análisis de la historia económica argentina. De Martínez de Hoz a Macri*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.
- BERESOVSKY, A. (2021). “La tecnología detrás del COVID-19”. Mirgor. Disponible en <https://mirgor.com/newsroom/tecnologia-detras-del-covid-19/>
- BORRUTO, M. E. (2012). El régimen de la ley de promoción económica 19640 y las empresas electrónicas. Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales.
- CARMONA, R. (2021). “Pandemia, trabajo y producción en Argentina”. Bordes. Revista de política, derecho y sociedad. Disponible en <http://revistabordes.unpaz.edu.ar/pandemia-trabajo-y-produccion-en-argentina/>
- CEPAL. (2020). “Informe especial COVID-19. Sectores y empresas frente al COVID-19: emergencia y reactivación”, CEPAL, N°4.
- CIECTI. (2020). “COVID-19: iniciativas y acciones del sistema científico-tecnológico en la Argentina”, CIECTI, n°1. Disponible en <http://www.ciecti.org.ar/01-covid-19-iniciativas-y-acciones-del-sistema-cientifico-tecnologico-en-la-argentina/>
- CIFRA, (2021). “Informe de Coyuntura N° 35” (Pablo Manzanelli y Daniela Calvo). Centro de Investigación y Formación de la República Argentina.
- COHEN, W. y D. LEVINTHAL, D. (1989). “Innovation and Learning: The Two Faces of R&D”. *Economic Journal*, 99 (1), pp. 569-596.
- COHEN, W. y D. LEVINTHAL, D. (1990). “Absorptive Capacity: A New Perspective on learning and innovation”. *Administrative Science Quarterly*, 35 (1), pp. 128-152.
- COMISIÓN NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA. (s/f). “Informe de objeción. Mirgor SACIFA - Brightstar Argentina S.A. – Brightstar Fuegoína S.A.” Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/06/infografia_mirgor__brightstar.pdf
- “Fabricación de respiradores en Mirgor: ‘la demanda del país está cubierta y ahora apuntan a la exportación’” (20 de julio 2020). Disponible en <https://www.radiouniversidad.com.ar/2020/07/27/fabricacion-de-res->

- piradores-en-mirgor-la-demanda-del-pais-esta-cubierta-y-ahora-apuntan-a-la-exportacion/
- GOBIERNO DE TIERRA DEL FUEGO. (2020). Informe sintético de la actividad industrial promovida en la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. 2015-2019.
- GOBIERNO DE TIERRA DEL FUEGO. (2021). Informe de empleo y producción en la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. 2020.
- GOBIERNO DE TIERRA DEL FUEGO. (2022). Informe de empleo y producción en la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. 2021.
- INDEC. (2021a). Informe de avance del nivel de actividad. Cuarto trimestre de 2020. Informes técnicos, Vol. 5, n° 19.
- INDEC. (2021b). Índice de producción industrial manufacturero. Diciembre de 2020. Industria manufacturera. Vol. 5, n° 51.
- KATZ, J. (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. BID-CEPAL.
- KATZ, J. (1984). "Domestic technological innovations and dynamic comparative advantage. Further reflections on a comparative case-study program". *Journal of Development Economics*. N° 16, North-Holland, pp. 13-37.
- LALL, S., (1992). "Technological Capabilities and Industrialization". *World Development*. Vol. 20, N°2, pp. 165-186.
- "Leistung cuadruplica producción de respiradores" (30 de junio 2020). Cámara de Comercio Exterior de Córdoba. Disponible en <https://www.cacec.com.ar/Noticia/detalleNoticia/leistung-cuadruplica-produccion-de-respiradores>
- LEISTUNG (2020). Manual de usuario Luft 3 AP. Ventilador para cuidados intensivos. Leistung Ingeniería S.R.L.
- MILES, R. y C. SNOW. (1978). *Organizational Strategy, Structure, and Process*. USA: McGraw-Hill Publishing Company.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA. (2022). Tierra del Fuego. Informe Productivo Provincial, año 7, N° 42.
- MIRGOR. (2021). Estados financieros consolidados y separados por el ejercicio finalizado el 31 de diciembre de 2020, juntamente con el informe de los auditores independientes y de la comisión fiscalizadora.

- MIRGOR. (2022). Estados financieros consolidados y separados por el ejercicio finalizado el 31 de diciembre de 2021, juntamente con el informe de los auditores independientes y de la comisión fiscalizadora.
- MOODY'S LOCAL. (2021). "Informe de calificación. Mirgor SACIFIA". Disponible en: <https://mirgor.com.ar/mirgor-wp20/wp-content/uploads/2022/09/ML-AR-Informe-regulatorio-Mirgor-23.09.2022.pdf>
- ONU. (2021). "Análisis conjunto del sistema de Naciones Unidas 2021: los efectos de la pandemia por COVID-19 en la Argentina. Documento de actualización del análisis común de país 2020-2021". ONU. Disponible en <https://argentina.un.org/es/145708-an%C3%A1lisis-conjunto-del-sistema-de-naciones-unidas-2021-los-efectos-de-la-pandemia-por-covid>
- RETAMAR, A. (2020). Incorporación de contenido nacional en productos electrónicos de consumo. El caso del acondicionador de aire en la industria fueguina. Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad, Universidad Nacional de Quilmes.
- ROMANO, S., KATAISHI, R. y L. DURÁN. (2018). "La promoción industrial en Argentina: entramado normativo para el caso de la ley 19.640". Economía, Sociedad y Territorio, vol. XVIII, N°58.
- SCHORR, M. y L. PORCELLI. (2014). "La industria electrónica de consumo en Tierra del Fuego. Régimen promocional, perfil de especialización y alternativas de desarrollo sectorial en la posconvertibilidad. Documento de Investigación Social", IDAES-UNSAM, N° 26.
- SCHUMPETER, J. A. (1978) [1911]. *Teoría del desarrollo económico*, México: Fondo de Cultura Económica.
- SCHUMPETER, J. A. (1983) [1942]. *Capitalismo, socialismo y democracia*. Barcelona. Orbis.
- WAHNON, P. (6 de julio 2021). "José Luis Alonso, CEO de Mirgor: 'No nos sirve salvarnos solos'". Revista Forbes. Disponible en <https://www.forbesargentina.com/negocios/jose-luis-alonso-ceo-mirgor-no-nos-sirve-salvarnos-solos-n6374>

Fuentes

- Ley 19.640/72. (1972). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.
- Decreto PEN 522/95. (1995). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.
- Decreto PEN 117/17. (2017). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Decreto PEN 979/17. (2017). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

DNU 260/20. (2020). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

DNU 297/20. (2020). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Res 695/20. (2020). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Decreto PEN 725/21. (2021). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Decreto PEN 727/21. (2021). INFOLEG. Ministerio de Economía de la Nación.

Capacidades tecnológicas y transición energética

CAPÍTULO 3

DE LA ILUSIÓN AL DESENCANTO. TRAYECTORIA SOCIO-TÉCNICA DE LA INDUSTRIA EÓLICA DE ALTA POTENCIA EN ARGENTINA (2005-2023)

Santiago Garrido

Emilia Ruggeri

IESCT-UNQ-CIC-BA-CONICET

Introducción

En la actualidad, la transición energética definida en términos de políticas públicas está alineada con el desarrollo de energías renovables como uno de los principales medios para la reducción de emisiones de dióxido de Carbono (CO₂) en el marco de los compromisos globales para enfrentar el cambio climático (IRENA, 2018). En este marco, en las últimas décadas comienza a imponerse con mayor fuerza la necesidad de realizar cambios profundos y simultáneos en tres sistemas vinculados a la energía: 1) procesos productivos y dinámicas de consumo; 2) tecnologías de extracción, utilización y transformación de energía; y 3) políticas de regulación de los sistemas energéticos. Estos procesos de cambio simultáneos e interconectados son los elementos fundantes de lo que se define como transición energética (Newell, 2021).

Los países desarrollados vienen impulsando la mitigación del cambio climático como formas de capitalismo verde como oportunidad de ampliar mercados e imponer sus tecnologías al resto del mundo en

desarrollo. Como contrapartida, este tipo de proceso de transición ofrece a los países del sur global la posibilidad de convertirse en proveedores de recursos naturales (como el litio u otros minerales críticos) reproduciendo las relaciones asimétricas vigentes en el modelo energético actual.

Es en este punto en que la transición energética justa es presentada en términos de soberanía científico-tecnológica. De este modo, se busca contrarrestar las políticas de transición agresivas de los países centrales que combinan desarrollo de capacidades tecno-productivas con políticas de cooperación internacional que garantizan el acceso a mercados en el resto del mundo (Jacobsson y Lauber, 2006). En algunos países como Argentina, la participación del sector científico-tecnológico e industrial locales está en el centro del debate acerca de la transición energética a la que se considera una ventana de oportunidad que puede ser palanca de la industrialización y el desarrollo de capacidades tecnológicas locales (Hurtado y Souza, 2018).

Lejos de ser una limitación, los desafíos que presenta la crisis climática global pueden ser una ventana de oportunidad para el desarrollo. Una transición hacia un nuevo régimen socio-técnico basado en la sostenibilidad puede implicar la gestación de dinámicas locales de innovación, la apertura de nuevas líneas de productos, de nuevas empresas productivas y de nuevas formas de organización de la producción. Puede favorecer la generación de nuevos sectores económicos, redes de proveedores y nuevas oportunidades de exportación.

Estas expectativas fueron las que generó la transición energética en Argentina, sobre todo en lo que refiere a la energía eólica de alta potencia. Esto se debió no sólo a la disponibilidad de excelentes registros de vientos en regiones como la Patagonia y la costa bonaerense, sino también a las capacidades acumuladas en términos de investigación científica y desarrollo tecnológico en el sector. Es así que la energía eólica fue impulsada con el objetivo de diversificar la matriz de generación, pero también con la expectativa de impulsar un sector industrial asociado.

Este trabajo se propone reconstruir la trayectoria socio-técnica de la industria eólica de alta potencia en Argentina entre 2005 y la actualidad. En particular, se propone focalizar en el proceso de co-construcción de políticas públicas y dinámicas de desarrollo tecno-pro-

ductivo. A partir de esta reconstrucción analítica, se propone generar nuevas reflexiones acerca de los procesos de transición energética en países como Argentina.

Enfoque Teórico

La transición energética comenzó a ser presentada y analizada como política pública por diferentes países europeos desde la década de 1970. Sin duda que el caso más destacado es el de Alemania, que implementó una serie de cambios normativos como estrategia para superar los efectos negativos que generó la crisis del petróleo de 1973. Esta política se profundizó a partir de 1990 en parte en respuesta a los nuevos desafíos que representaba el cambio climático. Desde entonces, la influencia de las energías renovables en la matriz energética alemana fue en aumento y se profundizó a partir de 2011 cuando se anunció el cierre programado de todas las centrales nucleares existentes en territorio alemán.

Junto con Alemania, diferentes países de Europa incorporaron el concepto de transición energética para definir sus estrategias de transformación de sus sistemas de energía que no sólo se reducían a un cambio de matriz de generación. Las políticas de transición de los países europeos incluían normativas de eficiencia energética, cambios en la producción industrial y reestructuración de los sistemas de transporte.

En este marco, un grupo de académicos de Europa occidental comenzaron a proponer una teoría de las transiciones hacia el desarrollo sostenible que combina aportes conceptuales de la Economía de la Innovación y de los estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad, y busca superar las limitaciones que presentan los análisis centrados exclusivamente en el desarrollo de innovaciones tecnológicas. Los estudios sobre transiciones proponen, en cambio, un marco analítico multinivel que permite comprender los procesos de transformación de amplios sectores de la producción y el consumo hacia regímenes más sustentables en términos económicos y ambientales (Smith y Stirling, 2010). De este modo, el enfoque basado en transiciones a la sustentabilidad propone comprender los procesos de cambio en términos sistémicos combinando tecnologías, prácticas sociales, in-

fraestructuras, regulaciones, mercados y valores culturales (Elzen y Wieczorek, 2005).

Entre los principales trabajos desarrollados en el campo de las transiciones a la sustentabilidad, se destacan los estudios basados en la perspectiva multinivel (Multi-level perspective-MLP) que propone analizar los procesos de transición socio-técnica en tres niveles: nicho, régimen socio-técnico y contexto socio-técnico (el término utilizado en inglés es *landscape*).

Los nichos dan cuenta de espacios protegidos en los que no operan las reglas convencionales de mercado y que, por lo tanto, permiten desarrollar y experimentar con innovaciones radicales (basadas en principios de sustentabilidad, por ejemplo). Las condiciones de nicho se pueden generar a partir de políticas de incentivos, políticas promocionales o incluso políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) orientadas al desarrollo de cierto tipo de tecnologías. Los nichos son centralmente espacios de experimentación y aprendizajes, y para ello cuentan con normas y prácticas específicas al margen de las que son dominantes en los regímenes socio-técnicos (Berkhout et al., 2004).

El régimen socio-técnico es el nivel clave para el análisis de los procesos de transición y se refiere al conjunto de reglas e instituciones (formales e informales), valores culturales, prácticas sociales y tecnologías que operan en un sistema socio-técnico determinado. En definitiva, son los regímenes socio-técnicos los que se transforman para generar cambios sistémicos profundos que marquen una transición (por ejemplo, pasar de un régimen dominado por el uso de hidrocarburos y altas emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) a otro dominado por las energías renovables y bajas emisiones). El concepto de régimen socio-técnico permite superar las interpretaciones de transición entendidas como procesos de sustitución de una tecnología por otra (Geels, 2011).

El contexto socio-técnico se refiere a los elementos de gran escala que pueden influir y afectar la dinámica de los regímenes socio-técnicos (o incluso en los nichos) y en los cuales los actores que participen en los procesos de cambio no tienen capacidad de gobernar. Algunos ejemplos de contexto socio-técnico se pueden referir a fenómenos como el cambio climático o las repercusiones generadas por fenómenos como el accidente nuclear de Chernóbil o la pandemia

del COVID 19. En función de cómo operan estos elementos, los regímenes socio-técnicos y los nichos pueden cambiar para proteger un orden establecido, adaptarse a cambios actuales o plantear estrategias de cambio (Geels, 2011).

Los estudios realizados a partir del enfoque MPL, entienden las transiciones como fruto de las interacciones entre estos tres niveles. En contraste con la mayoría de las explicaciones constructivistas del cambio tecnológico, los modelos multinivel tienen la ventaja de llamar la atención sobre los procesos de largo plazo y la dinámica de escalamiento.

Un elemento clave en los estudios sobre transiciones es la tensión entre la acumulación de capacidades cognitivas y su incorporación en el desarrollo tecnológico productivo (traducida en términos de relación entre nicho y régimen). En el caso argentino, esta situación se muestra notable en los últimos 15 años en los que los instrumentos de política pública en CTI se multiplicaron en cantidad y variedad, pero no así su incidencia en experiencias concretas de desarrollo tecno-productivo.

Para reconstruir los cambios y transformaciones experimentadas en el desarrollo de la energía eólica en Argentina durante el período analizado, se propone la utilización del concepto de “trayectoria socio-técnica” (Thomas, 2008). Una trayectoria socio-técnica es un proceso de co-construcción de elementos heterogéneos: relaciones usuario-productor, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor. Este concepto permite ordenar relaciones causales entre elementos heterogéneos en secuencias temporales.

Industria eólica de alta potencia a nivel global

El desarrollo de la industria eólica de alta potencia a nivel global estuvo directamente asociado (como la mayoría de las energías renovables) con la búsqueda de alternativas energéticas impulsada a partir de la crisis del petróleo de 1973. En ese momento, diferentes países europeos impulsaron investigaciones y líneas de financiamiento para el desarrollo de nuevas fuentes de energía que reemplazaran las tradi-

cionales dependientes de hidrocarburos (en su mayoría importados de Medio Oriente).

Industria eólica, 1973-1989: experimentación, primer boom y crisis

En la década de 1970, la apuesta de la mayoría de los países desarrollados fue el impulso de la construcción de grandes turbinas con capacidad de reemplazar las centrales térmicas con escasos resultados (Miles, 1996). En Estados Unidos, por ejemplo, el gobierno orientó diferentes fuentes de financiamiento al sector aeroespacial y eléctrico a través de instituciones públicas y grandes empresas como Boeing, General Electric y Westinghouse (Jones y Bouamane, 2011). Alemania, por su parte impulsó, a través del Ministerio Federal de Ciencia y Tecnología, un proyecto con la participación de empresas nacionales líderes de los sectores de la ingeniería mecánica y la aviación, como MAN, MBB y Dornier, para desarrollar un aerogenerador de gran porte, conocido como proyecto GROWIAN (Große Windenergieanlage) (Menzel, 2023)

En el caso de Dinamarca, en cambio, se concentraron los esfuerzos en la experimentación y desarrollo de equipos de menor porte y la instalación de pequeñas unidades de generación (en muchos casos cooperativas en zonas rurales) (Johansen, 2021). Estos equipos fueron desarrollados por emprendedores y pequeñas empresas que, a su vez, promovieron cadenas de proveedores locales de diferente tipo de componentes que consolidaron la industria eólica en la región, pero también la generación de conocimientos y capacidades en gestión de sistemas eléctricos con inyección de energías renovables (Karnøe y Garud, 2012).

Fue justamente en este marco que algunas pequeñas industrias especializadas en la producción de maquinaria agrícola se convirtieron en las empresas pioneras del sector eólico con gran influencia a escala internacional. Tal fue el caso de Vestas, Nordtank y Bonus que recibieron apoyo financiero del Estado danés a partir de 1979 en el marco de la segunda crisis del petróleo (Karnøe y Garud, 2012). Otro elemento que tuvo una significativa influencia en la consolidación de las empresas fabricantes de aerogeneradores danesas fue la

agresiva política de promoción impulsada por la administración de Jimmy Carter en Estados Unidos entre 1978 y 1985. Durante esos años, California se convirtió en el centro global de la energía eólica que favoreció el explosivo desarrollo de la industria norteamericana, pero también la importación de equipos de fabricación danesa que llegaron a representar cerca de la mitad de todas las granjas eólicas del estado. Tal fue el boom que cuando, en 1985, la política promocional se levantó, empresas como Vestas y Nordtank entraron en quiebra (Jones y Bouamane, 2011).

Industria eólica, 1989-2005: consolidación y expansión en Europa

El desarrollo de la industria eólica tuvo un nuevo impulso a partir de 1989 asociado esta vez a la implementación de políticas de fomento en diferentes países europeos. Tal fue el caso de la primera ley feed-in en 1990 que ofrecía precios preferenciales para la generación renovable en Alemania apoyado por un amplio acuerdo político multipartidario. Las consecuencias de estas políticas fueron la expansión del mercado de energías renovables en el país, la emergencia de redes de aprendizaje y proveedores de componentes, así como el crecimiento del poder político de la asociación industrial del sector eólico (Jacobsson y Lauber, 2006). Asimismo, se conformaron las principales empresas fabricantes (Enercon y Nordex) que junto con Vestas se convirtieron en las dominadoras del sector eólico durante las décadas siguientes.

Con el despegue de la industria eólica experimentada en la última década del siglo XX, se estabilizó y generalizó el tipo de aerogenerador dominante para la alta potencia. Hasta entonces, se probaron diferentes diseños que variaban de acuerdo a la cantidad de palas y las torres a utilizar. Desde 1990, todos los aerogeneradores de alta potencia fabricados e instalados fueron de tres palas de fibra de vidrio y con torres tubulares de acero.

Con esta estabilización y generalización de este tipo de diseño de equipos, la industria eólica se especializó en tres actividades de diseño y fabricación (turbinas, palas y torres) y una de desarrollo y operación de sistemas de control. Las grandes empresas como las ya mencionadas Vestas, Enercon y Nordex controlaron todas las etapas del proceso.

A partir de la primera década de este siglo, con la expansión de la energía eólica al resto del mundo, se comenzaron a crear cadenas productivas globales que incluyeron proveedores de componentes de diferente escala, actividades de I+D, diseño e instalación de parques generadores y servicios de operación y mantenimiento.

Así como el diseño de las palas y las torres se estabilizó en la década de 1990, algo ocurrió con los generadores. Hasta 1990, los generadores eran asincrónicos con velocidad fija utilizados en equipos de hasta 600 kW de potencia. Como este tipo de motores no pueden variar su velocidad, o admiten una pequeña variación, se producen problemas con la calidad de la energía que se obtiene de ellos, puesto que las variaciones de la velocidad del viento se transmiten directamente a la red. Por este motivo, este tipo de máquina fue descartada de forma paulatina en aplicaciones de gran potencia.

A partir de 1990 se impusieron las turbinas de velocidad variable con caja de cambios que le permite absorber los cambios de velocidad del viento. Estas tecnologías con sistemas electrónicos de control permitieron a los aerogeneradores cada vez más grandes absorber las ráfagas de viento, reduciendo las cargas extremas, y a la vez generar electricidad sin fluctuaciones.

Industria eólica, 2005-2020: concentración y expansión global

El desarrollo de la energía eólica a partir de la primera década de los 2000 se caracterizó por dos tendencias paralelas y complementarias: concentración empresarial y diversificación geográfica.

Por un lado, se produjo un proceso de concentración de la producción de equipos a partir de la adquisición y fusión de empresas. En algunos casos, grandes empresas transnacionales con divisiones de energía eólica compraron compañías especializadas en la producción de aerogeneradores surgidas entre los '70 y '80. Este fue el caso de la compra de la danesa Bonus y la española Gamesa por parte de Siemens o de la alemana Enercon por parte de General Electric (GE).

En otros casos, fueron empresas fabricantes de aerogeneradores tradicionales que se fusionaron entre sí. Tal es el caso de las fusiones

de las danesas Vestas y NEG Micon en 2004 y la alemana Nordex con la española Acciona.

Por otro lado, la diversificación se produjo con el surgimiento de fabricantes por fuera del ámbito europeo y norteamericano. A la pionera Suzlon de la India, fundada en 1995, se sumó una gran cantidad de empresas chinas entre las que se cuentan Sinovel, Goldwind, Guodian, Mingyang y Dongfang. La expansión de la generación eólica en Asia fue motorizada por la instalación de equipos fabricados por estas compañías.

Por fuera de Europa y Asia, Brasil se convirtió durante la primera década de los 2000 en el centro de interés del sector eólico global cuando impulsó sus propias políticas de promoción con financiamiento del Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDS). El boom brasileño fue acompañado con la radicación de diferentes empresas europeas y norteamericanas en el gigante sudamericano. Ese fue el caso de Alstom y Gamesa en 2011, Vestas en 2012, Siemens, Acciona y WEG en 2013 y GE en 2014. Además, se consolidó una red de proveedores locales de componentes entre los que se destacan las fábricas de palas (como Tecsis, Aeris y LM) y de torres (Energiebasa, Piratininga, Intecnial y RM eólica) (Podcameni, 2014).

En términos técnicos, el cambio más significativo producido en esta etapa fue el desarrollo de nuevas turbinas con sistemas de accionamiento directo sin caja de cambios lo que permite obtener mayor generación de energía eléctrica. Entre ellos se destacan los sistemas DDSM (Direct-drive electrically-excited synchronous) y DDPM (Direct-drive permanent-magnet synchronous). Estos sistemas se caracterizan por contar con un sistema de imanes permanentes que permite acoplar la turbina directamente al generador sin caja de cambios reduciendo costos de mantenimiento y generando más energía.

Los primeros aerogeneradores DDPM fueron desarrollados por la empresa alemana Vensys-Klinger en un prototipo de 1.2 MW instalado en 2003. Para finales de la década, prácticamente todos los principales fabricantes a nivel global se volcaron a este tipo de tecnología.

Trayectoria socio-técnica de la industria eólica de alta potencia en Argentina

En paralelo a la trayectoria experimentada por la industria eólica a escala global, Argentina definió su propio trayecto en este sector. Al igual que lo que se produjo en Europa, en el marco de la crisis energética de la década de 1970, se iniciaron en el país los primeros proyectos de experimentación en energía eólica. A finales de esa década, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) impulsó los primeros estudios para evaluar el potencial de los vientos patagónicos para la generación de energía eléctrica (Hurtado y Souza, 2018). Asimismo, a comienzos de la década de 1980, diferentes grupos de investigación habían iniciado estudios similares en la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) y el Centro Nacional Patagónico (CENPAT) de Puerto Madryn.

Además del desarrollo de estas evaluaciones del recurso eólico, en esos años también se desarrollaron los primeros proyectos de producción local de aerogeneradores. La Sección Naval de Investigaciones y Desarrollo (SENID), por ejemplo, diseñó y construyó una turbina eólica de 10 kW que fue llamada Turbina Eólica Argentina (TEA) que fue la primera en su tipo en Sudamérica (Bastianon, 2018). Asimismo, la ya mencionada CNIE también desarrolló un prototipo y el Departamento de Motores de Aviación de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Córdoba avanzó en el diseño teórico de un aerogenerador adaptado a las condiciones de los vientos patagónicos (Noël, 1985).

En forma paralela a estos desarrollos, en 1978 la CNIE estableció un acuerdo de cooperación técnica con la República Federal de Alemania y con la empresa Dornier para el desarrollo y prueba de una turbina de eje vertical Darrieus. El prototipo fue instalado finalmente en la ciudad de Comodoro Rivadavia en 1981 (Bagatello, 2010).

Estas primeras experiencias en el campo de la energía eólica se desarrollaron como proyectos puntuales y aislados (aunque hubo diferentes instancias de cooperación entre grupos de investigación).

Recién a mediados de la década de 1980, se puede encontrar una política pública nacional para promover el desarrollo de las energías renovables en general y la eólica en particular. En 1985, el gobierno

de Raúl Alfonsín firmó el Decreto PEN N° 2247/85 que creaba el Programa de Uso Racional de la Energía que incluía a su vez tres sub-programas: a) Conservación de la energía; b) Sustitución de combustibles; y c) Evaluación, desarrollo y aplicación de nuevas fuentes de energía.

En el marco del último sub-programa, se impulsaba entre otras fuentes de energía renovable el desarrollo de la energía eólica. Entre las principales medidas que se buscaba promover en los cinco años previstos para el programa se destacaban la constitución de uno o más Centros Regionales para la Aplicación de la Energía Eólica, efectuar una evaluación del recurso eólico a nivel país, evaluar las posibilidades de instalación de una granja de viento de una potencia adecuada para su interconexión a una red y propiciar la participación activa de la industria nacional en la fabricación de los distintos componentes que integran un sistema aerogenerador.

Como resultado de esta iniciativa, se creó el Centro Regional de Energía Eólica (CREE), mediante un convenio entre la provincia de Chubut, la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y la Secretaría de Energía de la Nación. Desde entonces, el CREE se convirtió en el centro de referencia a nivel nacional y regional en estudios e investigaciones en el campo de la energía eólica.

Entre las principales actividades desarrolladas en el Centro, se destaca la realización de mediciones detalladas del potencial de los vientos patagónicos, confección de mapas eólicos y series estadísticas con vista al aprovechamiento energético, y la elaboración de programas de electrificación rural.

Asimismo, en 1999 la provincia de Chubut sancionó una ley provincial de Energía Eólica (Ley N° 4.389) que eximía del gravamen impositivo provincial por un plazo de diez años y establecía una recomposición económica para los generadores eólicos instalados o a instalarse si incluían componentes fabricados o ensamblados en el territorio provincial. La provincia de Buenos Aires también sancionó una ley de promoción en 2001, la ley 12.603, que establecía beneficios impositivos para los proyectos de generación a partir de fuentes renovables y la fabricación de equipos y componentes en la provincia (Clementi, 2017).

Para obtener los beneficios que ofrecía la ley provincial de Chubut, la Cooperativa eléctrica de Comodoro Rivadavia acordó con la empresa española Gamesa (proveedora de los dieciséis aerogeneradores que formaron parte de la ampliación que hicieron de su parque eólico Antonio Morán en 2001) que las torres de los aerogeneradores fueran construidas por los Astilleros Navales de la ciudad. A pesar de estos antecedentes, no fue hasta mediados de la década del 2000 que se pudieron observar avances significativos en el desarrollo local de aerogeneradores de alta potencia.

Primer impulso de la industria eólica de alta potencia en Argentina (2005-2015): la ilusión

A partir de mediados de la década del 2000, se impulsaron en Argentina leyes y políticas públicas para favorecer el desarrollo de las Energías Renovables buscando modificar la situación fósil-dependiente de la matriz energética nacional. En ese momento, se generaron grandes expectativas sobre el desarrollo de la industria eólica de alta potencia.

En el año 2006, el Congreso argentino sancionó un paquete de leyes para promover la adopción de Energías Renovables entre las que se destacaba la ley 26.190 que declaraba de interés nacional la generación de energía eléctrica dedicada al servicio público a través de recursos renovables. Entre otros aspectos que trataba la ley, se establecía como objetivo lograr una contribución de las fuentes renovables que alcance el 8% de la demanda en un plazo de diez años a partir de la puesta en vigencia del régimen (Fundación Bariloche, 2009)¹.

La principal iniciativa que se impulsó para alcanzar el objetivo planteado por la ley 26.190 fue el programa GENREN (Generación Renovable), impulsado por la empresa estatal Energía Argentina S.A. (ENARSA), que se basaba en la licitación y compra de 1000 MW de

1 La meta del 8% fue definida a partir de los compromisos asumidos por la Argentina de forma voluntaria en el marco de la “International Conference for Renewable Energies”, desarrollada en 2004. Esa conferencia surgió como resultado de una convocatoria realizada por una coalición de países que se conoció como Johannesburg Renewable Energy Coalition (JREC) iniciada en la Cumbre de Johannesburgo (2002) (Villalonga, 2013).

potencia producidos a partir de Energías Renovables. ENARSA se comprometía a comprar la energía a los generadores, asegurando contratos a precio fijo en dólares por un lapso de quince años. La energía adquirida iba a ser colocada por ENARSA en el mercado eléctrico mayorista (Giralt, 2011).

Uno de los puntos importantes para la evaluación de las ofertas fue que los equipos y materiales utilizados en los proyectos presentados fueran mayormente fabricados o ensamblados en el país, conforme a los criterios del régimen de Compre Trabajo Argentino. Para esto se dispuso que la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA) evaluara el componente nacional y fiscalizara su cumplimiento (Aggio et al., 2018).

En paralelo, el Ministerio de Planificación Federal firmó en 2005 la carta de intención para desarrollar un Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica (PENEE) con el objetivo declarado de impulsar la generación de electricidad a partir de la energía eólica, promover la producción industrial nacional en este sector, la adecuación de infraestructuras asociadas y la instalación de 300 MW de potencia en el país (Giralt, 2011).

El principal logro alcanzado en el marco de este plan fue la confección de un mapa eólico nacional y un Atlas Eólico del Potencial del Sur Argentino para cada una de las provincias que lo componen. Esta información se compiló en el Sistema de Información Geográfico Eólico (SIG Eólico). Esta herramienta permite generar mapas pormenorizados del viento en todo el país, pero también cruzarlo con otro tipo de información como las redes eléctricas, viales y ferroviarias, e incluso el rendimiento de diferentes tipos de equipo según el emplazamiento.

En el momento en que el Ministerio de Planificación lanzaba el Plan Estratégico, tres empresas nacionales declaraban contar con la capacidad de producir aerogeneradores de alta potencia: la rionegrina INVAP S.E., NRG Patagonia de Comodoro Rivadavia y la mendocina IMPSA (a través de su división eólica IMPSA Wind) (Nicolini et al., 2020; Brendstrup, 2009).

INVAP S.E. fue creada como un desprendimiento del área de investigaciones aplicadas del Centro Atómico Bariloche (CAB) de la CNEA, a través de un convenio entre esta última y el gobierno de la provincia de Río Negro en el año 1976. Desde sus orígenes, la empresa

se especializó en el desarrollo de tecnología para el sector nuclear, pero luego se extendió a otras áreas como la aeroespacial, médica e industrial.

A mediados de la década de 1980, la empresa comenzó a fabricar turbinas eólicas de baja potencia para abastecimiento eléctrico de usuarios aislados como instalaciones petroleras o poblaciones rurales (Lugones y Lugones, 2004) y a partir del año 2000 la producción de este tipo de equipos quedó a cargo de INVAP Ingeniería S.A. con la estandarización de un modelo de aerogenerador de 4,5 kW denominado IVS 4500²). Una de las principales características de estos equipos es que están preparados para soportar vientos de alta intensidad (dominantes en la región patagónica).

A partir de 2005, INVAP S.E. comenzó a trabajar en el desarrollo de un aerogenerador de alta potencia en diferentes etapas que se iniciaron en un acuerdo con la provincia de Santa Cruz con el objetivo de instalar un parque eólico piloto en el norte de esa provincia (Brils Mascarenhas et al., 2021). El modelo diseñado era un aerogenerador de 1,5 MW para operar con vientos fuertes y constantes como los de la Patagonia (Clase I). El generador previsto era de velocidad variable con control de paso, caja multiplicadora y generador de inducción de rotor bobinado, con doble alimentación (DFIG) (Brendstrup, 2009).

NRG Patagonia es una empresa creada en el año 2006 por parte de empresas relacionadas a la industria del petróleo y el gas en la zona de Comodoro Rivadavia. Desde sus orígenes, la empresa se orientó al desarrollo de un aerogenerador adaptado a los vientos dominantes en la región internacionalmente clasificado como de Clase I. Este objetivo estuvo asociado a los problemas técnicos que sufrieron los aerogeneradores instalados de origen importado (Stubrin y Cretini, 2023).

Frente a esta evidencia, empresarios locales decidieron avanzar en un prototipo de un aerogenerador de alta potencia denominado NRG 1.500, apto para vientos Clase I. El modelo desarrollado por NRG es asincrónico con mejora por resbalamiento con caja multiplicadora. Para desarrollarlo la empresa compró el diseño de un molino

2 INVAP Ingeniería S.A. es una de las spin-off desarrolladas por parte del personal de INVAP S.E. para enfrentar las políticas neoliberales del gobierno de Carlos Menem. En el caso particular de INVAP Ingeniería, un porcentaje del paquete accionario de la empresa se mantuvo en manos de INVAP S.E.

Clase 2 en Alemania, con software de Dinamarca, y lo redimensionaron para vientos Clase 1 (REVE, 2010). Los responsables de la empresa, hacen hincapié en que el NRG 1.500 no se desarrolló a partir de una licencia, sino que se compró la tecnología para fabricar todas las partes del molino en la Argentina.

Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A. (IMPISA) es una empresa centenaria (fundada en 1907) originaria de la provincia de Mendoza, especializada en los últimos cincuenta años en el sector energético (petróleo, hidroelectricidad, nuclear). En 2004, la empresa realizó una apuesta por el desarrollo de aerogeneradores de alta potencia aprovechando la experiencia y conocimientos acumulados en la construcción de turbinas hidroeléctricas.

IMPISA venía siguiendo la evolución del sector eólico desde los años ochenta, y en 1998 inició estudios sobre materiales compuestos buscando generar una tecnología propia. En 2003, IMPISA desarrolló su primer prototipo de 1 MW de potencia. Los primeros aerogeneradores producidos y comercializados fueron de una potencia de 1,5 MW con tecnología de Vensys, una empresa alemana pionera en el desarrollo de aerogeneradores de transmisión directa.

La experiencia adquirida en la fabricación de aerogeneradores de tecnología alemana y las inversiones en I+D –80 millones de dólares en diez años– le permitieron a la empresa desarrollar un diseño propio (Unipower®). Con esta tecnología, se desarrollaron nuevos equipos de potencia nominal máxima de 2,1 MW (Aggio et al., 2018).

Uno de los rasgos distintivos de los aerogeneradores de IMPISA Wind, es que son síncronos con imanes permanentes y turbina acoplada directamente al generador, lo que evita la caja multiplicadora de velocidad, una pieza vital de alta complejidad presente en equipos con generadores asíncronos.

Este proceso estuvo asociado a una profunda transformación en la estructura de la empresa que se especializó en el sector de las energías renovables. Su presidente destacaba en 2012 que la incursión en el negocio eólico provocó un recambio de personal técnico, proceso por el cual muchos especialistas en las tecnologías tradicionales desarrolladas por la empresa, fueron reemplazados por una generación joven. En particular, se destaca la contratación de cuatrocientos ingenieros

en 2005 para fortalecer el área de investigación y desarrollo (Pescarmona, 2012).

Asimismo, IMPSA Wind se posicionó en el mercado como un proveedor de soluciones totales. Para esto ofrecía soporte a las tareas de desarrollo de proyectos de parques eólicos, diseño y fabricación de aerogeneradores, y venta de parques eólicos bajo la modalidad “llave en mano”.

Entre 2007 y 2008, la empresa cerró contratos para el desarrollo de parques eólicos en Brasil incluyendo la provisión de equipos con tecnología Unipower. Como parte de esta expansión en el mercado brasileño, la empresa instaló dos plantas de fabricación de aerogeneradores en Brasil en el puerto de Suape, en el estado de Pernambuco para abastecer el mercado local, regional y global. Es así que IMPSA es la única empresa argentina con capacidad de fabricación seriada de aerogeneradores.

En línea con las políticas de promoción del desarrollo de la energía eólica en el país y con la disponibilidad de industrias en condiciones de producir aerogeneradores de alta potencia, la empresa estatal ENARSA impulsó junto con la provincia de Chubut el proyecto “Vientos de la Patagonia”. La finalidad de este proyecto era promover la industria eólica nacional a través de la puesta en marcha, operación, desarrollo y mantenimiento de un parque eólico de alta potencia para abastecer el mercado eléctrico nacional. La iniciativa tenía prevista la instalación de un Parque eólico con los modelos evaluados y homologados. En el proyecto original, se esperaba la participación de las tres empresas anteriormente mencionadas con equipos de 1,5 MW de potencia aptos para vientos clase I.

Finalmente, de las tres empresas, sólo IMPSA Wind y NRG Patagonia lograron cumplir con el desarrollo de sus equipos que conformaron el Parque Eólico El Tordillo inaugurado en 2011 y que entró en operación comercial a finales de 2013, luego de alcanzar la homologación de los equipos aptos para vientos clase I. De este modo, Argentina se consolidó como el único país del hemisferio sur en contar con aerogeneradores de alta potencia con tecnología propia operativos y entregando energía a la red.

En paralelo, el gobierno de la provincia de La Rioja impulsó otro proyecto de parque eólico realizando mediciones y certificaciones del potencial de vientos en la región de Arauco al norte de la provincia.

En 2010, se constituyó la sociedad Parque Eólico Arauco SAPEM con una composición accionaria repartida entre el estado provincial (75%) y ENARSA (25%), y se firmó el contrato de provisión de veinticuatro turbinas de 2.1 MW fabricadas en el país por IMPSA. Este proyecto se concretó entre 2011 y 2014 con la instalación y puesta en marcha de las veinticuatro turbinas IMPSA proyectadas. El modelo de Sociedad Anónima con Participación Estatal Mayoritaria (SAPEM) implementado por la provincia de La Rioja fue imitado por la provincia de Santiago del Estero para el desarrollo del Parque Eólico El Jume que fue inaugurado en 2015 con cuatro aerogeneradores IMPSA de similares características a los de Arauco. En ambos casos IMPSA también se hizo cargo de la operación y control de los parques.

En julio de 2010 se publicaron los resultados de la licitación, posicionando a la energía eólica como la opción más atractiva a desarrollar en Argentina, al menos a los ojos de los inversionistas. En total, fueron adjudicados proyectos por 754 MW (de un total de 1000 licitados). Entre los proyectos adjudicados se contaban dos parques eólicos (Malaspina en Chubut y Koluel Kayke en Santa Cruz) presentados por la empresa IMPSA que preveían la instalación de veinticinco equipos de fabricación propia cada uno (Calbosa, 2012).

El impulso generado por todos estos proyectos y las expectativas que generó el programa GENREN permitió la conformación de un sector industrial especializado en energía eólica. En 2011, la Cámara de Industriales de Proyectos e Ingeniería de Bienes de Capital (CIPI-BIC) creó el Clúster Eólico Argentino que agrupaba sesenta empresas vinculadas al sector eólico entre fabricantes de turbinas, torres, transformadores, sistemas de control, etc. Entre sus principales objetivos, el Clúster buscaba consolidar un entramado productivo local asociado al desarrollo de este tipo de energía (Barberena, 2012).

De forma complementaria, en 2013, se lanzó la convocatoria del Fondo de Innovación Tecnológica Sectorial (FITS 2013) “Energía - Desarrollo y fabricación de aerogeneradores de alta potencia”, que se proponía financiar proyectos orientados a la resolución de problemas y desarrollar capacidades tecnológicas para la producción de bienes y servicios dedicados al aprovechamiento de la energía eólica. En este sentido, la convocatoria establecía dos áreas estratégicas: 1) generación de componentes para aerogeneradores y elementos para sistemas

de conexión a la red eléctrica y 2) fabricación de aerogeneradores de 1 MW de potencia como mínimo (Aggio et al., 2018).

A través de este instrumento, fueron financiados seis proyectos entre los que se contaban dos que apuntaban al desarrollo de nuevos modelos de aerogeneradores (en los que participaban las empresas NRG Patagonia e IMPSA), tres orientados al desarrollo de capacidades para la fabricación de distintos componentes y uno que se proponía desarrollar todas las capacidades necesarias para poder brindar un servicio de mantenimiento de los aerogeneradores eólicos y su eventual reparación, lo cual incluye la capacidad de fabricar los repuestos necesarios (Aggio et al., 2014).

La ejecución de los proyectos tuvo un avance desigual y en la mayoría de los casos tuvieron que enfrentar diferentes dificultades entre las que se destaca sobre todo los efectos de sucesivas devaluaciones y la inflación que redujo sustancialmente la capacidad adquisitiva de los fondos asignados con presupuestos que no tuvieron ningún tipo de actualización. En el caso del proyecto desarrollado por la empresa IMPSA, a estos problemas se sumó la grave situación de la empresa que entró en convocatoria de acreedores en esos años (Aggio et al., 2018).

Para mediados de 2015, se había establecido un consenso acerca de considerar al programa GENREN y las políticas de impulso de la promoción de las energías renovables desarrolladas por el gobierno argentino como un fracaso. Entre otras razones porque la meta comprometida de alcanzar el 8% de la matriz abastecido por fuentes renovables para 2016 era una meta incumplible. En este clima de opinión se comenzó a trabajar en el Congreso nacional en una reforma de la ley 26.190 como vía de solución. Esa nueva ley y el cambio de gobierno producido con el triunfo electoral de la Alianza Cambiemos a finales de 2015 fueron los hechos clave que marcaron el inicio de una nueva etapa.

Con este diagnóstico, se comenzó a trabajar en un nuevo régimen de promoción que se concretó en una nueva ley, la 27.191, sancionada en 2015 que modificó a la 26.190 de 2006. Los principales cambios que introdujo esta ley fue la extensión del plazo para cumplir con la cuota del 8% de 2016 a 2017, la imposición de la obligación de la cuota a los grandes usuarios del sistema eléctrico (ya sea por autogeneración o contratos de provisión entre privados), y la liberación

de impuestos a la importación de equipos importados hasta la fecha máxima de cumplimiento de la cuota del 8% (que se prorrogaba para 2017). Esta ley fue reglamentada en marzo de 2016 por el Ministerio de Energía que había sido creado por el nuevo gobierno presidido por Mauricio Macri.

Para cumplir con los lineamientos planteados por la nueva ley, se anunció el programa RenovAr que consistía en una serie de licitaciones de nuevos proyectos de energías renovables. El Programa fue lanzado en julio de 2016. A diferencia del programa GENREN, los contratos de provisión de electricidad se hacían directamente con la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Sociedad Anónima (CAMMESA), lo cual eliminaba a ENARSA como intermediario. El programa se inició con una primera etapa (llamada Ronda 1) en la que se licitaron 1000 MW de potencia nominal.

La convocatoria fue considerada muy exitosa por dos motivos: 1) se presentaron 123 ofertas por más de 2.500 MW de potencia, y 2) se obtuvieron precios muy por debajo de los vigentes hasta el momento. Estos indicios se materializaron en poco tiempo en un significativo aumento de la cantidad de centrales de generación entre las que se destacaron sobre todo los parques eólicos (Almeida Gentile, 2017).

Las principales diferencias que tenía el RenovAr en relación al GENREN fueron la extensión de los contratos de provisión (se ampliaron a veinte años) y la posibilidad de acceder al Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER), que operaba como garantía del pago por parte de CAMMESA. Este fondo era con un crédito específico del Banco Mundial. Por otro lado, al momento del lanzamiento de estas licitaciones la Argentina ya no tenía las limitaciones que generaba el litigio con los llamados fondos buitres, ya que el nuevo gobierno había realizado el pago de los montos demandados. De forma complementaria, el Ministerio de Energía habilitó la suscripción de contratos para el abastecimiento de grandes consumidores. Como se explicó, la ley 27.191 obliga a los grandes consumidores a cumplir con una cuota del 8% de la energía consumida a partir de fuentes renovables. De hecho, son los únicos verdaderamente obligados por dicha norma, ya que su incumplimiento individual y efectivo deriva en la aplicación de una penalización. Para evitar este tipo de sanciones, los grandes consumidores deben acreditar (a) la suscripción de contratos

de provisión, o bien (b) presentar un proyecto de autogeneración o cogeneración. Para dar respuesta a este sector específico del mercado eléctrico, se impulsó el Mercado a Término de Energía Eléctrica de Fuente Renovable (MaTeR), que también tuvo una significativa respuesta (Clementi et al., 2019).

En el marco de estas políticas, los proyectos eólicos de alta potencia se multiplicaron en muy poco tiempo y con ello la presencia de los grandes fabricantes a nivel global. La empresa danesa Vestas se consolidó como el principal proveedor elegido por los desarrolladores locales con la alemana Nordex, en segundo lugar. Muy por debajo de estas empresas se ubicaron la española Gamesa, la alemana Enercon y la china Envision (las tres con un proyecto cada una). Por otro lado, un aspecto notorio de los parques eólicos desarrollados durante esta etapa fue que se impuso la adopción de turbinas gran tamaño (superando en la amplia mayoría de los casos los 3 MW de potencia instalada).

Los resultados cuantitativos en relación al aumento de la potencia instalada eólica son ciertamente notorios, ya que se logró multiplicar por ocho la potencia instalada en 2015. En estos logros se basaba el entusiasmo de diferentes funcionarios públicos que hablaban de una revolución de las renovables dentro de la cual la energía eólica se presentaba como la más dinámica. Sin embargo, este entusiasmo no se extendió al sector productivo vinculado a la fabricación de equipos de alta potencia que vieron como los nuevos parques eólicos fueron desarrollados con aerogeneradores importados.

Deriva de la industria eólica de alta potencia en Argentina (20015-2023): el desencanto

La expansión del sector eólico que experimentó la Argentina a partir de la nueva ley (y los programas RenovAR y MaTeR) no fue acompañada por una consolidación de la industria nacional de aerogeneradores de alta potencia. Este fenómeno puede ser explicado por una combinación de factores que constituyeron una tormenta perfecta y que involucran aspectos normativos de la legislación, modelos de negocios y la crisis financiera experimentada por algunos de los actores clave.

En el caso de INVAP S.E., uno de los problemas con el que se enfrentó rápidamente, fue que el diseño de su artefacto (el Eolis 15) contaba con una tecnología DFIG con caja multiplicadora, mientras que la amplia mayoría de los equipos instalados en los parques eólicos desarrollados en Argentina utilizaban la tecnología de imanes permanentes que les permitía una mayor capacidad de generación más allá de la potencia del viento disponible (Referente de energías renovables de INVAP Ingeniería, comunicación personal, 2015).

Frente a esta limitación, los referentes del área de energía eólica de la empresa consideraban que, en la región patagónica, las limitaciones de la tecnología DFIG se podía explicar por la calidad de los vientos predominantes (Brendstrup, 2009). Con este argumento, la empresa mantuvo la expectativa de convertirse en un actor relevante en el sector eólico de alta potencia (al menos en términos de proyectos y declaraciones públicas). Sin embargo, nunca pudo instalar, ni homologar su aerogenerador en Vientos de la Patagonia y tampoco pudo participar de las diferentes rondas de licitaciones que se desarrollaron desde 2009³.

Frente a este escenario, la empresa orientó sus esfuerzos a la generación de capacidades para convertirse en proveedor de componentes para grandes aerogeneradores. Por un lado, a partir de uno de los proyectos mencionados anteriormente y financiados por los Fondos Sectoriales (FONARSEC), INVAP S.E. incursionó en el diseño y desarrollo de palas aptas para equipos de alta potencia, una parte de los aerogeneradores que se importan en su totalidad. En el marco del proyecto se avanzó en el diseño de la ingeniería junto con la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la empresa ITP Argentina S.A. La finalidad del proceso era alcanzar la producción de una pala de una sola pieza que no requiriera soldaduras o puntos de adhesión tal como ocurría con los componentes existentes en el mercado hasta ese momento (Referente de energías renovables de INVAP Ingeniería, comunicación personal, 2015). En una segunda etapa, se esperaba instalar una planta productiva en Cutral Co, junto a la fábrica de

3 En 2009, INVAP participó en uno de los consorcios que se presentaron a la licitación del GENREN con dos proyectos de 50 MW ubicados en el Cerro Policía de la provincia de Río Negro, pero no quedó entre los adjudicados.

aerogeneradores de baja potencia que tiene la empresa y una nueva planta para fabricar torres para equipos de alta potencia.

Finalmente, el proyecto de diseño de palas no pudo completarse por la falta de fondos por lo que no se pudo cumplir con la producción de los últimos prototipos previstos (Aggio et al., 2018).

Asimismo, en 2015, INVAP S.E. conformó junto con Transcomahue S.A. la empresa Eólica Rionegrina S.A. para desarrollar y operar proyectos eólicos. Este nuevo emprendimiento se originó en un proyecto inicial negociado con Dinamarca, que finalmente no pudo llevarse a cabo, para instalar un parque eólico con equipos importados (Ser Industria, 2014).

Las dificultades que enfrentó INVAP S.E. con su diseño de aerogenerador con tecnología nacional eran compartidas por el desarrollado por NRG Patagonia. El equipo que esta empresa instaló y homologó en el marco de Vientos de la Patagonia, también tenía una turbina con caja multiplicadora. A pesar de ello siguió trabajando en el desarrollo de equipos de este tipo con el financiamiento obtenido en la convocatoria FONARSEC de 2013.

El nuevo equipo desarrollado por NRG Patagonia fue un rediseño de su modelo original instalado en el Parque eólico El Tordillo, para que sea apto a condiciones de menor intensidad de viento y de velocidad variable. Asimismo, se buscó otro tipo de nicho para su utilización por lo que fue adquirido finalmente por una cooperativa de la provincia de Buenos Aires. Sin embargo, NRG Patagonia también reorientó sus actividades hacia el diseño y desarrollo de parques eólicos con equipos importados a través de un spin off. ENAT, la empresa en cuestión, fue creada en 2016 y desarrolló proyectos para las licitaciones del RenovAR de los cuales obtuvo la adjudicación del parque eólico Kosten de 24 MW con aerogeneradores fabricados por la empresa alemana Senvion (Stubrin y Cretini, 2023).

De este modo, aunque NRG Patagonia logró sostener la fabricación de un nuevo modelo de aerogenerador de alta potencia, el mayor proyecto en el que participó fue el desarrollo de un parque eólico con equipos importados.

De las tres empresas argentinas fabricantes de aerogeneradores de alta potencia, la única que había alcanzado capacidad de producción en serie de equipos y tenía parques eólicos operativos en el país (y tam-

bién en el exterior) era IMPSA Wind. Además, era la única que contaba con una tecnología de imanes permanentes que era claramente la que se había impuesto en el mercado internacional. Sin embargo, cuando la construcción de parques eólicos se multiplicó en Argentina a un ritmo acelerado a partir de las nuevas políticas de promoción, IMPSA Wind no pudo instalar ni un solo equipo de su propiedad.

Parte de los inconvenientes que tuvo que enfrentar la empresa se originaron en proyectos desarrollados en el exterior. En 2014, la empresa se declaró en default al no poder pagar sus compromisos financieros externos. Las autoridades de la firma relacionaron esta crisis a la deuda acumulada de la empresa Electrobras por la energía entregada por sus parques eólicos en Brasil y la paralización de los proyectos hidroeléctricos que venía desarrollando en Venezuela (Gallardo, 2014). Además, la entidad reclamaba la falta de oportunidades con las que contaba en Argentina para desarrollar proyectos (Energía Estratégica, 2015).

Sin embargo, algunos problemas de IMPSA se venían generando desde antes. Por ejemplo, nunca logró poner en marcha los parques eólicos que habían sido adjudicados en el marco del GENREN (Malaspina y Koluel Kayke). El principal argumento para justificar esta demora por parte de la empresa fue la falta de financiamiento, ya que el Estado sólo les ofrecía el precio preferencial. Una situación similar experimentó en Uruguay donde presentó proyectos en procesos licitatorios que fueron cancelados por la empresa estatal UTE por la falta de cumplimiento (Gerente UTE, Comunicación personal, 2016).

En términos técnicos, los aerogeneradores instalados en el Parque Eólico Arauco tuvieron problemas de rendimiento que fueron adjudicado a las palas que la empresa había fabricado originalmente (Responsable técnico de PEA, comunicación personal, 2015). Este problema obligó a la empresa a reemplazar las palas originales por otras de origen importado, práctica que mantuvo desde entonces para todos los equipos que produjo e instaló en el país.

Por fuera de las dificultades particulares experimentadas por las empresas fabricantes, se pueden mencionar otros elementos, menos visibles, que atentaron contra la posibilidad de sostener la participación de los aerogeneradores desarrollados localmente. Por ejemplo, los precios obtenidos en el marco de las licitaciones del programa RenovAR. Los bajos valores en los nuevos contratos de provisión de

energía renovable fueron uno de los aspectos más festejado de la nueva política impulsada a partir de 2016. Sin embargo, dejaron fuera de competencia a los fabricantes nacionales que no podían competir con los precios y condiciones de financiación ofrecidos en los parques con tecnología importada. El ejemplo más claro de esto fue el del Parque Eólico Arauco que durante la fase anterior se destacó por ser el primero en contar con aerogeneradores de fabricación nacional (IMP-SA) y que para el RenovAR lograron la adjudicación de un nuevo proyecto con turbinas Siemens Gamesa de origen español. El propio presidente del Parque Eólico Arauco reconoció que para poder ser competitivos con los precios de la licitación tuvieron que reducir el componente nacional (Energía estratégica, 2016)⁴.

El porcentaje de participación de la industria nacional en los proyectos es otro de los puntos de cuestionamiento por parte de las empresas locales asociadas al Clúster de Industrias y Tecnologías de las Energías Renovables de Argentina (CITERA). En particular, se cuestionan los criterios establecidos para determinar los porcentajes del Componente Nacional Declarado (CND) de los proyectos que era tomado en cuenta por las empresas para acceder a diferentes beneficios fiscales (Massare, 2018). El marco normativo establecido para favorecer la participación de la industria nacional les asignaba un alto porcentaje a algunos componentes (como las torres a las que se le asigna un 23%) de menor complejidad tecnológica y menos a otros que conforman el generador. Incluso se le asigna un alto porcentaje a actividades de ensamblaje de las góndolas a las que se le asignó un 10% (Aggio et al., 2018).

La alta valoración asignada a las torres consolidó la tendencia que ya se venía estableciendo en otros lugares del mundo, en los que los grandes fabricantes de aerogeneradores contratan proveedores locales para estos componentes debido a su baja complejidad tecnológica y los altos costos logísticos que implican su transporte. Además, en Argentina ya existían diferentes empresas fabricantes que podían aten-

4 En las primeras etapas del Parque Eólico Arauco, se realizó con un crédito nacional del Fondo para el Desarrollo Económico Argentino (FONDEAR) cercano a los 800 millones de pesos, además de fondos aportados por los accionistas nacionales como el Gobierno de la Rioja y la estatal ENARSA (Gubinelli, 2015).

der esa demanda y que habían acumulado aprendizajes y capacidades durante la fase anterior. De este modo, las políticas de promoción terminaron beneficiando a los actores más competitivos como las empresas fabricantes de torres. Incluso, una de ellas logró convertirse en exportador de sus torres para aerogeneradores de Vestas en otros países (Fenés, 2020).

Como contrapartida, algunas grandes empresas extranjeras como Vestas y Nordex se comprometieron a instalar plantas de ensamblado en Argentina. En el primero de los casos, la danesa Vestas se asoció con la empresa local Newsan para ensamblar góndolas en una de las plantas que tiene esta última en la ciudad bonaerense de Campana (Manzoni, 2018). Nordex, en cambio firmó una alianza con la Fábrica Argentina de Aviones Brigadier San Martín (FAdeA) dependiente del Ministerio de Defensa de la Nación para ensamblar góndolas y bujes en la planta de la ciudad de Córdoba (Energía Estratégica, 2019).

En la medida en que los proyectos adjudicados en el marco del RenovAR y del MaTER se fueron concretando, la expansión del sector eólico en Argentina se encontró con nuevos inconvenientes. El principal problema actual del sector es la saturación del sistema de transporte eléctrico por falta de nuevas inversiones. Toda la generación incorporada en el período 2016-2020 se realizó aprovechando las redes de alta tensión construidas en el decenio anterior, que permitieron, entre otras cosas, la conexión de la Patagonia al sistema interconectado nacional. Pero al concentrarse en algunos puntos como el sudeste de la provincia de Buenos Aires y en Chubut saturaron muy rápidamente la capacidad de transporte de esa energía (Kazimierski, 2020).

Esta situación, no sólo afectó a los desarrolladores de parques eólicos y sus proveedores extranjeros. También perjudicó a las empresas locales proveedoras de componentes como las torres que realizaron fuertes inversiones para ampliar su capacidad productiva para abastecer la expansión del sector y actualmente sólo tienen como alternativa la exportación (Director GRI Calviño, comunicación personal, 2020).

En paralelo, el Ministerio de Desarrollo Productivo creado por el gobierno de Alberto Fernández, que asumió en diciembre de 2019, retomó el desafío de aprovechar el proceso de transición energética como un eje dinamizador de la generación de capacidades tecno-pro-

ductivas locales. Entre las principales medidas tomadas en este sentido se destaca el proceso de capitalización de IMPSA a través de la incorporación del Estado nacional como principal accionista de la empresa con el 63,7% de las acciones (mientras que la provincia de Mendoza se quedó con un 21,2% y el 15,1% permanece en manos privadas) (El Economista, 2021).

Desde entonces, la empresa logró reposicionarse a través de diferentes proyectos de infraestructura vinculados al sector hidroeléctrico y nuclear (IMPSA, 2022). El sector eólico sigue resultando esquivo por las problemáticas ya mencionadas de limitaciones del sistema eléctrico argentino, pero también porque los modelos desarrollados por la empresa (equipos con una potencia instalada de 2 MW) no se ajustan a los estándares actuales que buscan una mayor potencia por aerogenerador (entre 3 y 6 MW). Esta situación afecta también a NRG Patagonia, ya que los dos diseños que tiene desarrollados son de 1,5 MW.

Consideraciones finales

La necesidad de avanzar en una transición energética hacia sistemas socio-técnicos más sustentables, se ha convertido en un proceso inevitable y prácticamente indiscutido a escala global. Sin embargo, todavía sigue vigente un profundo debate en la forma de llevar adelante ese proceso y sobre todo en definir quiénes lo deben conducir. En los países europeos que impulsaron políticas de transición agresivas, se combinaron políticas orientadas al desarrollo de capacidades tecno-productivas con regulaciones y normativas que favorecían la adopción de energías renovables. Incluso, alinearon sus políticas de cooperación internacional a los intereses de los fabricantes locales de aerogeneradores para garantizarles mercados en el exterior.

En el caso de la Argentina, las políticas orientadas al desarrollo de capacidades científico-tecnológicas y las normativas dirigidas a promover la penetración de las energías renovables en la matriz energética operaron aisladas, muchas veces dispersas y hasta de forma contradictoria. En el caso concreto de la energía eólica de alta potencia, estas

iniciativas se concentraron en los últimos veinte años en un ciclo que pasó por instancias de ilusión, euforia y desencanto en poco tiempo.

La trayectoria socio-técnica de desarrollo de la industria eólica de alta potencia en Argentina, permite repensar los modelos de transición energética y el uso de herramientas conceptuales utilizadas para su análisis. La perspectiva Multinivel, por ejemplo, suele ser criticada porque la mayoría de los trabajos que la utilizan reproducen un modelo lineal basado en procesos de escalamiento desde los nichos hasta el cambio de régimen. Este capítulo es una muestra clara de que esos procesos de transición no se ajustan a la realidad de países como la Argentina.

El caso presentado muestra como la transformación de los regímenes no siempre es provocada por la presión ejercida desde los nichos a fuerza de la acumulación de aprendizajes y capacidades. En algunas ocasiones, los regímenes cambian favoreciendo otro tipo de configuraciones que involucra otro tipo de actores e intereses.

En el caso de la energía eólica de alta potencia, se observa cómo las capacidades generadas en los nichos son incorporadas de forma subordinada a los intereses de las grandes empresas transnacionales fabricantes de turbinas eólicas aportando algunos componentes. En simultáneo, experiencias que surgieron en condiciones de nicho como el Parque eólico Arauco, se reconvirtieron y alinearon a las condiciones que imponía la configuración del régimen socio-técnico para sobrevivir.

En países como Argentina, la constitución de nichos depende en gran medida de la aplicación de políticas públicas. En el caso de la energía eólica de alta potencia, se observa una importante cantidad de políticas para promover condiciones de nicho (proyectos específicos como el de Arauco o Vientos de la Patagonia, políticas de compranacional y políticas CTI orientadas).

Sin embargo, también se puede observar un desacople de políticas que operan a nivel de nicho y las que definen el régimen socio-técnico. Esta falta de articulación entre nicho y régimen socio-técnico se expresa en un desacople en términos temporales. Se observa una falta de *timing* entre políticas orientadas a generar capacidades científico-tecnológicas a nivel de nicho y la generación de normas y regulaciones que permitan incorporar estas capacidades en el régimen socio-técnico.

Pero, además, los regímenes socio-técnicos no se reducen a las normas formales expresadas en términos de leyes o regulaciones. Tam-

bién están conformados por dinámicas de mercado que establecen ciertas pautas de lo deseado y buscado. En el caso del sector eólico, se impusieron los modelos de grandes parques eólicos concentrados en los que la capacidad por unidad de generación es clave. Esto quiere decir que lo que se impone es la búsqueda de equipos cada vez más grandes. Esto no quiere decir que ese sea el único modelo posible, sino que es el que se impuso en buena medida por la presión del contexto socio-técnico en el que dominan las grandes empresas transnacionales, las instituciones que financian y las que evalúan la viabilidad técnica y económica.

Frente a este escenario, se observa la falta de nichos que permitan experimentar con modelos alternativos asociados a proyectos de generación distribuida que operen en otro nivel de escala (algo que ya existe en el caso de la energía solar fotovoltaica).

Para pensar los problemas y desafíos que debe enfrentar la industria eólica en Argentina resulta valioso el aporte de los estudios sobre transiciones a la sustentabilidad, sobre todo el de la perspectiva multinivel. En general, los trabajos desarrollados desde esta perspectiva identifican como nichos sustentables a los espacios de investigación y desarrollo (laboratorios, universidades, instancias experimentales), sobre todo porque cumplen con la premisa de ser espacios protegidos en los que las reglas de juego son diferentes (rentabilidad, eficiencia, performance). Sin embargo, el gran desafío es avanzar en procesos de adecuación socio-técnica que permitan la continuidad y el escalamiento de los proyectos, así como evitar que queden reducidos a simples experiencias demostrativas o testimoniales.

La transición energética en países como la Argentina debe responder a un cambio integral del sistema socio-técnico vigente. Esto implica que, no solo se debe cambiar la matriz de generación de la energía, sino que también se deben transformar los marcos normativos, las prácticas de consumo y las racionalidades económicas vigentes. Pero, además, para que la transición se proyecte en el tiempo resulta imprescindible alinearla a un proceso de generación de capacidades técnico-productivas locales.

Bibliografía

- AGGIO, C.; Erbes, A.; Milesi, D.; Gil Abinader, L.; Beccaria, A.; Lengyel, M. (2014). *Asociatividad para la innovación con alto impacto sectorial. Congruencia de objetivos entre las áreas programática y operativa de los Fondos Sectoriales*. Buenos Aires: CIECTI.
- AGGIO, C.; Verre, V. y Gatto, F. (2018). *Innovación y marcos regulatorios en Energías Renovables: El caso de la energía eólica en la Argentina*. Buenos Aires: CIECTI.
- ALMEIDA GENTILE, P.; Jara Musuruana, L. y Tessmer, G. (2017). Energías renovables: Hecho en Argentina. Informes del Observatorio UNR N° 37. Recuperado de <https://rephip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/17540/IO37-IE13-%20Energias%20Renovables%20Hecho%20en%20Argentina.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- BAGATELLO, G. (2010). Uso del recurso eólico en las bases antárticas, Revista de la Escuela Superior de Guerra Superior (RESGA), N° 227.
- BARBERENA, M. (2012). Potencialidades de incorporación al Clúster Eólico Argentino de las empresas de GEIB (Grupo Integrado de Berisso), Industrializar Argentina, (10) 18, pp. 8-13.
- BASTIANON, R. (2018). Panorama actual y global de la energía eólica y sus relaciones ambientales y sociales, Ciencia e Investigación (68) 1.
- BERKHOUT, F.; Smith, A. y Stirling, A. (2004). “ocio-technological regimes and transition contexts”, en Elzen, B.; Geels, F. y Green, K (eds). *System Innovation and the Transition to Sustainability*. Cheltenham: Edward Elgar, pp. 48–75.
- BRENDSTRUP, H. (2009). Desarrollo y fabricación de aerogeneradores de alta potencia con tecnología propia: 1,5 MW para vientos clase I, IEDS-CNEA.
- BRIL MASCARENHAS, T., Gutman, V., Dias Lourenco, M. B., Pezzarini, L., Palazzo, G. y Anauatti, M. V. (2021). Políticas de desarrollo productivo verde para la Argentina. Documentos de trabajo. FUNDAR. Disponible en <https://fund.ar/wp-content/>.
- CALBOSA, G. (2012). Internacionalización de empresas medianas de capital nacional: casos Havanna e IMPSA. Tesis de Maestría (MBA). Victoria: Universidad de San Andrés.
- CLEMENTI, L. (2017). Energía eólica y territorios en Argentina. Proyectos en el sur de la provincia de Buenos Aires, entre fines del siglo XX y principios del siglo XXI, Tesis Doctoral. Bahía Blanca: UNS.

- CLEMENTI, L.; Ise, A.; Berdolini, J. L.; Yuln, M.; Villalba, S. y Carrizo, S. (2019): El mapa de la transición energética en Argentina, *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (39) 2, pp. 231-254.
- El Economista (2021). Impsa: el acierto de rescatar una empresa estratégica y ahora, el desafío de manejarla. *El Economista*, 31/5/2021. Recuperado de <https://eleconomista.com.ar/economia/impsa-acierto-rescatar-una-empresa-estrategica-ahora-desafio-manejarla-n43769>
- ELZEN, B. y Wiczorek, A. (2005). Transitions towards sustainability through system innovation, *Technological Forecasting Social Change*, 72 (6), pp. 651–661.
- Energía Estratégica (2015). Enrique Pescarmona sobre IMPSA: «El error nuestro fue una percepción errada del Brasil moderno» 18/5/2015. Recuperado de <https://www.energiaestrategica.com/enrique-pescarmona-sobre-impsa-el-error-nuestro-fue-una-percepcion-errada-del-brasil-moderno/>
- Energía Estratégica (2016). Parque Eólico de Arauco tendrá operativo sus 102,4 MW para mediados del 2017, *Energía Estratégica*, 4/11/2016. Recuperado de <https://www.energiaestrategica.com/parque-eolico-arauco-tendra-operativo-1024-mw-mediados-del-2017/>
- Energía Estratégica (2019): Nordex Group inauguró su planta ensambladora de aerogeneradores en Córdoba, *Energía Estratégica*, 6/6/2019. Recuperado de <https://www.energiaestrategica.com/nordex-group-inauguro-su-planta-ensambladora-de-aerogeneradores-en-cordoba/>
- FENÉS, G. (2020): GRI Calviño anuncia exportación de 100 tramos de torres de energía eólica para Vestas, *Energía Estratégica*, 29/7/2020. Recuperado de <https://www.energiaestrategica.com/calvino-exporta-torres-de-energia-eolica-para-vestas/>
- Fundación Bariloche (2009). Energías renovables. Diagnóstico, barreras y propuestas. Bariloche: REEP-Secretaría de Energía-FB.
- GALLARDO, D. (2014). IMPSA: Claves para entender la crisis de una empresa emblema. *MiningPress*, 1/9/2014. <https://miningpress.com/264664/impsa-claves-para-entender-la-cri-sis-mas-empresas-pidieron-salvataje-en-mendoza>
- GARRIDO, S. y Recalde, M. (2021). “Transición energética justa: una mirada desde América del Sur”. En Garrido, S. (Comp.). *Transición energética en Sudamérica. Discusión conceptual, políticas públicas y experiencias locales*. Carapachay: Lenguaje Claro. pp. 15-64.
- GEELS, F. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms, *Environmental Innovations and Societal Transitions*, N°1, pp. 24-40.

- GIRALT, C. (2011). Energía eólica en Argentina: un análisis económico del derecho, *Letras Verdes*, Nº 9, pp. 64-86.
- GUBINELLI, G. (2015): Parque Eólico de Arauco analiza ampliar su capacidad con inversiones chinas, *Energía Estratégica*, 13/7/2015.
URL:<https://www.energiaestrategica.com/parque-eolico-de-arauco-analiza-ampliar-su-capacidad-con-inversiones-chinas/>
- HURTADO, Diego y Souza, Pablo (2018): Geoeconomic uses of global warming: The “green” technological revolution and the role of the semi-periphery. *Journal of World-Systems Research*, (24) 1, pp. 123-150.
- IMPESA (2022). Memoria anual al 31 de diciembre de 2021. Recuperado de <https://ws.bolsar.info/descarga/pdf/402466.pdf>
- IRENA (2018). Transformación energética mundial: hoja de ruta hasta 2050. Agencia Internacional de Energías Renovables: Abu Dhabi.
- JACOBSSON, S. y Lauber, V. (2006). The politics and policy of energy system transformation - Explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy* 34: 256-276.
- JOHANSEN, K. (2021). Blowing in the wind: A brief history of wind energy and wind power technologies in Denmark. *Energy Policy* 152. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112139>
- JONES, G. G. y Bouamane, L. (2011). Historical trajectories and corporate competences in wind energy. *Harvard Business School Entrepreneurial Management Working Paper* Nº 11-112.
- KARNØE, P., y Garud, R. (2012). Path creation: Co-creation of heterogeneous resources in the emergence of the Danish wind turbine cluster. *European Planning Studies* 20 (5), pp. 733-752.
- KAZIMIERSKI, M. (2020). La energía distribuida como modelo post-fósil en Argentina. *Economía, Sociedad y Territorio* 20 (63), pp. 397-428.
https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/168916/CONICET_Digital_Nro.103e02b2-4809-46df-867f-dc96dfb163fc_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- LUGONES, G. y Lugones, M. (2004). Bariloche y su grupo de empresas intensivas en conocimiento: Realidades y Perspectivas. Documento de trabajo Nº17, Centro Redes. Recuperado de <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/doc/redes/17.pdf>
- MANZONI, C. (2018): De la mano del gigante Vestas, Grupo Newsan se mete de lleno en el negocio de la energía eólica, *La Nación*, 22/6/2018. Recuperado de URL:<https://www.lanacion.com.ar/economia/negocios/de-la-mano-del-gigante-vestas-grupo-newsan-se-mete-de-lleno-en-el-negocio-de-la-energia-eolica-nid2146094>

- MILES, I (1996). Transition to alternative energy supply technologies: The case of windpower. *Energy Policy* 24 (5), pp. 413-425.
- MATTIO, H., Bonati, A. y Cirelli, H. (1991). Parque eólico Rio Mayo: primer año de operación. Rawson: Centro Regional de Energía Eólica (CREE).
- MENZEL, M. P. (2023). Conventions, markets and industry evolution: the example of the wind turbine industry in Germany 1977–2021. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 27.
- NEWELL, P. (2021). *Power Shift: The Global Political Economy of Energy Transitions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NICOLINI, J.; Neuman, M.; Fernandez, M.; Modai, E. y Ramírez, O. (2020). Políticas de desarrollo y transferencia de tecnología: El caso de la industria de equipos y componentes para generación eólica de alta potencia en Argentina. Documento de Trabajo IDEI, N°2, Los Polvorines: UNGS. Recuperado de URL: <https://www.ungs.edu.ar/wp-content/uploads/2018/09/DT-22020.pdf>
- NOËL, J-M. (1985). *Energía Eólica. Argentina, Fomento y desarrollo de los recursos en energía tradicionales y no tradicionales a pequeña escala destinadas a las poblaciones rurales y dispersas*. Informe Técnico. París: UNESCO.
- PESCARMONA, E. (2012). “Tecnología sudamericana para el mundo. Una oportunidad que no pensamos dejar pasar”, ADIMRA. <https://www.adimra.org.ar/historias-de-vida>
- Podcameni, M. G. (2014). *Sistemas de inovação en energia eólica: A experiência brasileira*. Tesis doctoral. Río de Janeiro: UFRJ.
- Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico* (2010): NRG: desafíos para el desarrollo de la industria eólica local argentina, publicada el 5/9/2010. Recuperado de <https://www.evwind.com/2010/09/05/nrg-desafios-para-el-desarrollo-de-la-industria-eolica-local-argentina/>
- Ser Industria* (2014): Dinamarca invertiría 50 millones de dólares en la instalación de un parque eólico en Río Negro, 14/10/2014. Recuperado de <https://www.serindustria.com.ar/dinamarca-invertiria-50-millones-de-dolares-en-la-instalacion-de-un-parque-eolico-en-rio-negro/>
- SMITH, A. y Stirling, A. (2010). The politics of social-ecological resilience and sustainable sociotechnical transitions, *E&S*, 15(1).
- STUBRIN, L. y Cretini, I. (2023). Transición energética y oportunidades de desarrollo tecnológico local. El caso de la energía eólica en la Cuenca del Golfo San Jorge. *H-Industria* 17 (32), pp. 57-80.
- THOMAS, H. (2008): “Estructuras cerradas vs. Procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico”, en Thomas, H.

- y Buch, A. (Coords.). *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, pp. 217-262.
- VILLALONGA, J. C. (2013). *Energías renovables: ¿por qué debería ser prioritario cumplir el objetivo del 8% al 2016?* Buenos Aires: Fundación AVINA.

Entrevistas

- Director empresa GRI Calviño, Comunicación personal, 18/2/2021
- Referente en energías renovables INVAP Ingeniería, Comunicación personal, 7/10/2015.
- Gerente energía eólica UTE, Comunicación personal, 7/3/2016.
- Responsable técnico Parque eólico Arauco, Comunicación personal, 1/9/2015.

Normativa

- Decreto PEN 2.247/1985. Programa de uso racional de la energía.
- Ley Nacional 26.190/2006. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica.
- Ley Nacional 27.191/2015. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación.
- Ley provincial 4.389/1998. Ley de energía eólica. Provincia de Chubut.
- Ley provincial 12.603/2001. Ley de energías renovables. Provincia de Buenos Aires.

CAPÍTULO 4

GENERACIÓN DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EN UNA AGENCIA ESTATAL. DESARROLLO DE SENSORES Y CELDAS FOTOVOLTAICAS EN EL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA SOLAR DE LA CNEA

Yamila Noely Cáceresc

CONICET - IESCT/UNQ/CIC/BA - UNLU

Introducción

En 1950, en un escenario caracterizado por el proceso de industrialización por sustitución de importaciones, el gobierno nacional creó la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) con el objetivo de desarrollar tecnologías nucleares. Veintiséis años más tarde, la estructura organizativa de la Comisión se había complejizado al punto de incluir un Departamento de Fuentes Renovables. Si bien el Departamento comprendía diversas energías no convencionales, la actividad se concentró en la investigación y desarrollo de la energía solar.¹

1 En 1976, la CNEA creó el Departamento de Energía Solar en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes (CAC) en línea con el objetivo de diversificar, complementar y/o reemplazar las fuentes convencionales de la matriz energética argentina, hasta entonces basada principalmente en la explotación de recursos térmicos no renovables.

En 1976, la CNEA creó el Departamento de Energía Solar en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes (CAC) en línea con el objetivo de diversificar, complementar y/o reemplazar las fuentes convencionales de la matriz energética argentina, hasta entonces basada principalmente en la explotación de recursos térmicos no renovables.

En la década de 1990, el Departamento de Energía Solar trabajó en el campo de la conversión fotovoltaica y en el diseño, elaboración y caracterización de celdas de silicio. En paralelo, el gobierno nacional creó la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y sancionó el Decreto PEN N° 2.076/94 mediante el cual se estableció el Plan Nacional “Argentina en el espacio 1995-2006”.

El Plan Espacial Nacional, entre sus metas y planes de acción fomentaba el establecimiento de vinculaciones entre CONAE y entidades del complejo científico-tecnológico argentino con el fin de estimular tareas de investigación y el desarrollo local de componentes con prestaciones adecuadas para su uso en el espacio exterior. Una de las primeras instituciones con las que la agencia estableció un vínculo de cooperación fue el Departamento de Energía Solar, perteneciente a la CNEA.

La asociación del Departamento de Energía Solar con CONAE permitió el desarrollo de componentes espaciales, los cuales formaron parte de las misiones satelitales de aplicaciones científicas (SAC) argentinas emprendidas en la empresa rionegrina INVAP S.E.

El objetivo de este capítulo es reconstruir la trayectoria del Departamento de Energía Solar y analizar las capacidades tecnológicas espaciales desarrolladas en su interior. El período bajo análisis comprende desde el primer experimento de celdas solares colocadas en un satélite de diseño nacional orientado a la validación tecnológica de componentes, hasta la comercialización de sensores solares en el exterior. En función de ello, las preguntas que guiaron este artículo fueron ¿Por qué la Comisión Nacional de Energía Atómica creó un departamento orientado a la investigación y desarrollo de la energía solar?, ¿Qué capacidades tenía el Departamento de Energía Solar que favorecieron su vinculación con la CONAE? ¿Cómo y qué capacidades se desarrollaron a partir de su inserción en los proyectos satelitales?

El caso de estudio del presente capítulo resulta de interés, puesto que permite visibilizar a inicios del siglo XXI la sinergia generada a partir de la articulación de instituciones del complejo científico-tecnológico local, instituciones dependientes en forma directa del Poder Ejecutivo y el sector productivo nacional. Por lo tanto, no solo recrea el “viejo” triángulo de Sábató, sino que pone en evidencia el alto nivel de desarrollo que presenta la ciencia y la tecnología en Argentina. El caso contribuye al análisis de desarrollos tecno-productivos de bienes conocimiento-intensivos con capacidad de exportación en la semiperiferia. Se caracteriza a la Argentina como un país semiperiférico tanto en términos cuantitativos como cualitativos, puesto que posee una estructura económica dual con sectores tecno-productivos generadores de bienes de alto valor agregado –tales como el nuclear, aeroespacial, biotecnológico, entre otros– junto a sectores con baja participación en el Producto Bruto Nacional. Además, si bien Argentina presenta cierto desarrollo científico-tecnológico e industrial, ambas esferas aparecen desarticuladas. Finalmente, el sector con mayor dinamismo está situado en el agro y la exportación de commodities. Si bien la posición semiperiférica en el sistema-mundo favorece una mayor apropiación de valor que la de los países de la periferia, resulta menor que la apropiación ejercida por los países centrales, así como la incidencia en los marcos normativos mundiales e instituciones supranacionales (Wallerstein, 1979; Arrighi, 1990; Taylor y Flint, 2002; Hurtado, 2015; Chase-Dunn y Hall, 2018; Cairo, 2023).

Marco teórico-metodológico

Para analizar la trayectoria de una institución parte del complejo científico-tecnológico argentino y la experiencia de diseño, producción, ensayos y comercialización de componentes satelitales se utilizó un abordaje teórico compuesto por nociones de la sociología de la tecnología y la economía del cambio tecnológico.

La investigación inició con la reconstrucción de la trayectoria socio-técnica del Departamento de Energía Solar en torno al desarrollo de celdas y sensores solares para las distintas misiones satelitales lideradas por CONAE. Ello permitió ordenar de manera diacrónica

las relaciones causales entre distintos elementos heterogéneos en secuencias temporales, tomando como punto de partida un elemento socio-técnico en particular. Una trayectoria socio-técnica es un proceso de co-construcción de productos, procesos productivos y organizaciones, instituciones, relaciones usuario-productor, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor -firma, institución de I+D, universidades, etc.- (Thomas, 1999; 2008).

Al interior de la trayectoria se identificaron las capacidades tecnológicas que permitieron desarrollar un prototipo de un componente para uso satelital hasta su comercialización en el mercado regional. Las capacidades tecnológicas constituyen “un cierto flujo de conocimientos tecnológicos incrementales localmente generados, que actúan complementando –por vía de adaptaciones, mejoras, etcétera– el diseño tecnológico originalmente importado” (Katz, 1978:9). Lall (1992), en línea con Katz, planteaba que las capacidades tecnológicas constituyen las habilidades, esfuerzos e inversiones realizadas por una firma para dominar, adaptar y mejorar las tecnologías de acuerdo a sus condiciones. A inicios del siglo XXI, el concepto se amplió. Kim (2001) definió las capacidades como las habilidades que posibilitan a una firma asimilar, emplear, adaptar y modificar tecnologías existentes, al mismo tiempo que pueden crear y desarrollar nuevas tecnologías. Gutti (2008) consideró que las capacidades tecnológicas involucran “el conocimiento y las habilidades necesarias para adquirir, usar, adaptar y crear tecnología” (Gutti, 2008, p. 8).

Dada la existencia de múltiples capacidades tecnológicas, en el presente artículo se consideraron las:

- Capacidades de absorción (Cohen y Levinthal, 1990) -habilidades para reconocer conocimientos nuevos y externos, asimilarlo y luego aplicarlo-;
- Capacidades de inversión (Lall, 1992) -habilidades que permiten identificar y obtener las tecnologías necesarias para diseñar, construir y equipar una nueva instalación o nuevo proyecto-;
- Capacidades de producción (Lall, 1992) -habilidades que contemplan el control de calidad, la operación y mantenimiento, la

adaptación y mejora de una tecnología comprada, la investigación, el diseño y la innovación de tecnologías propias;

- Capacidades de vinculación (Lall, 1992) -habilidades para intercambiar información, tecnologías y conocimientos entre empresas, proveedores, consultores, subcontratistas, usuarios, entre otros.

Tras la identificación de las capacidades tecnológicas, se analizaron los procesos de aprendizaje que permitieron el desarrollo de estas. Para ello se consideró el “aprendizaje por la práctica” (Arrow, 1962), y el “aprendizaje por interacción” (Lundvall, 1985). Se introduce el concepto de “dinámicas socio-cognoscitivas”, debido a que los procesos de aprendizaje tienen lugar en un espacio estructurado a lo largo del tiempo y atravesado por relaciones de cooperación (simétricas) y relaciones de poder y dominación (asimétricas) tanto al interior de la institución como entre las diversas instituciones y/o empresas involucradas. Por lo tanto, en el análisis de tales procesos deben comprenderse los intereses científico-tecnológicos, políticos, económicos, geopolíticos y comerciales, los cuales actúan como dimensiones estructurantes de los mismos (Cáceres, 2022a).

Finalmente, dado que el conocimiento puede ser explícito y tácito, se consideraron las interacciones existentes entre estos dos tipos de conocimientos. Para ello, se hizo uso de las categorías propuestas por Nonaka y Takeuchi (1995): 1. socialización (proceso por el cual los actores comparten sus experiencias y se crea conocimiento tácito); 2. exteriorización (proceso por el cual el conocimiento tácito es articulado en forma de conceptos); 3. combinación (proceso que involucra la combinación de distintos cuerpos teóricos); y 4. interiorización (proceso de conversión del conocimiento explícito y codificado en conocimiento tácito).

De acuerdo a los objetivos planteados y el marco teórico seleccionado, en esta investigación se adoptó una perspectiva metodológica cualitativa basada en el análisis documental, principalmente de los informes técnicos de los equipos involucrados en el proceso de diseño y producción de los componentes satelitales (Valles, 1999).

El Departamento de Energía Solar

A inicios de la década de 1970, el mundo se vio sacudido por dos conflictos que alteraron el orden internacional. Por un lado, escalaron las tensiones existentes entre las fuerzas egipcias y sirias e Israel, conflicto en que las potencias - la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) y EE.UU.- se posicionaron y destinaron recursos, respectivamente. Por otro lado, Arabia Saudita y los otros países árabes petroleros, en respuesta a la ocupación y el avance de Israel sobre Palestina decidieron reducir en un 25% la producción de crudo, con el consecuente alzamiento del precio internacional (Maffeo, 2003).

Las decisiones de los países árabes exportadores de petróleo generaron una crisis internacional, siendo los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) quienes estuvieron entre los más afectados dado que importaban el 50% de las fuentes de energía utilizadas (Maffeo, 2003). En dicho escenario, la matriz energética argentina se basaba en un 91% en la explotación de recursos térmicos no renovables (petróleo -61%- , gas natural -29%- y carbón mineral -1%-) (Secretaría de Energía, 2009), por lo que el país también se vio afectado por las decisiones internacionales.

En 1976, la CNEA creó el Departamento de Fuentes Renovables (luego Departamento de Energía Solar) en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes (CAC) con el objetivo de diversificar, complementar y/o reemplazar las fuentes convencionales de energía. Para ello, conformó un grupo de trabajo, responsable de generar investigaciones y desarrollos que permitieran aprovechar, concentrar y convertir la energía del Sol en energía utilizable para la producción de calor o la generación de electricidad.

Desde entonces, Energía Solar constituyó uno de los cinco departamentos que conformaban la gerencia Investigación y Aplicaciones del CAC, a su vez dependiente de la gerencia de área Investigación y Aplicaciones No-Nucleares de la CNEA (Res. CNEA N°411/10 B.A.P. 71/10 CNEA). Entre sus objetivos específicos estaban: 1- participar en programas nacionales e internacionales de I+D sobre uso y conversión de la energía solar; 2- formar recursos humanos en fuentes de energía renovables; 3- participar en la elaboración de normas referidas al uso de la energía solar y otras fuentes renovables; 4- desarrollar

dispositivos fotovoltaicos tanto para uso terrestre como espacial y 5- desarrollar procesos de producción y ensayos sobre los componentes de los dispositivos fotovoltaicos.

¿Por qué se creó un Departamento de Energías Renovables al interior de CNEA? Aunque esta pregunta es válida, visibiliza el desconocimiento existente respecto a los múltiples ámbitos de acción de la entidad y la reduce sólo a aquellas que están orientadas por la actividad nuclear. CNEA es una entidad compleja con una gran amplitud en cuanto a los límites de acción. Los conocimientos generados en materiales, química, emisión de rayos, entre otros le permitieron involucrarse en diversos proyectos, entre los cuales estaba el de celdas solares.

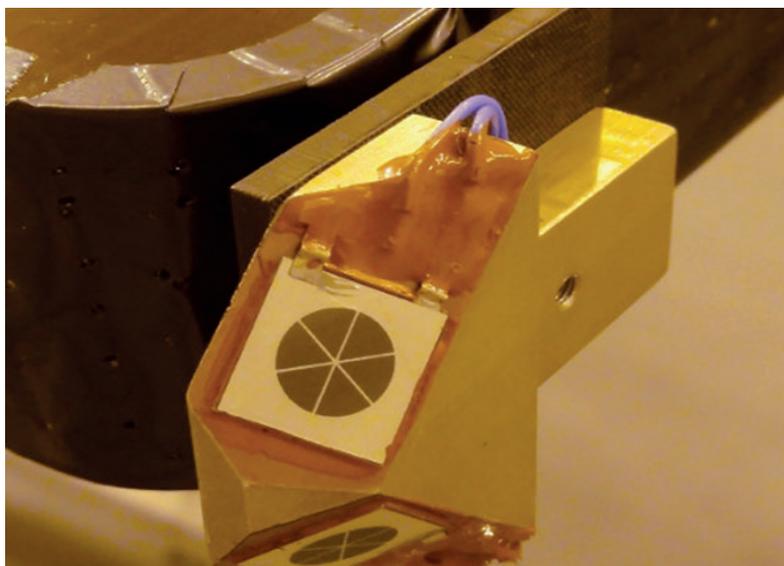
Si bien en los inicios el Departamento estaba interesado en instalar una fábrica piloto para la producción de celdas solares, dicho proyecto no se materializó de forma completa. Las dificultades económicas que atravesaba la Argentina a fines de la década de 1980 condicionaron el dominio local de las distintas etapas de producción: crecimiento de monocristales de silicio (Si); corte en finas láminas; pulido y horneado.

El Departamento carecía de los equipamientos necesarios para cortar y pulir los monocristales y no contaba con el financiamiento para su adquisición (Claudio Bolzi, comunicación personal, 07 de octubre de 2023). Sin embargo, sí tenía los conocimientos y las herramientas para hacer crecer cristales. Además, a través de una donación de INVAP S.E. gestionada mediante un ex ingeniero de CNEA había conseguido incorporar un horno de difusión térmica necesario en los procesos de producción de la última etapa (Hernán Socolovsky, comunicación personal, 07 de octubre de 2003). Por lo tanto, entre 1986 y 1995 la principal actividad del Departamento estuvo vinculada al crecimiento de monocristales de silicio de bajo costo, los cuales podían utilizarse principalmente en celdas de uso terrestre (Barrera et al., 2004) y en el dominio de la última fase de producción.

En 1992, el Departamento desarrolló las primeras celdas solares de silicio que eran usadas en tierra. Sin embargo, la sanción del Plan Espacial tres años más tarde, los requerimientos específicos en términos de potencia eléctrica de cada una de las misiones satelitales lideradas por CONAE y los altos precios internacionales de las celdas y paneles solares favorecieron que el Departamento de Energía Solar orientara

sus capacidades para el desarrollo de componentes fotovoltaicos con calidad espacial (Bolzi et al., 1996) sin que ello signifique dejar de lado la línea de trabajo vinculada a las aplicaciones terrestres. En dicho escenario, CNEA estableció un acuerdo de cooperación con CONAE, mediante el cual se materializó la puesta en órbita de las primeras celdas solares argentinas en el satélite argentino SAC-A². En tal proyecto, el Departamento de Energía Solar contó con la colaboración de los ingenieros de INVAP S.E. y de la División de Semiconductores del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA) (Bolzi et al., 1997).

FIGURA N° I. SENSORES SOLARES GRUESOS DISEÑADOS POR DEPARTAMENTO DE ENERGÍA SOLAR



Fuente: Sensores | Depto. Energía Solar - Gcia. Investigación y Aplicaciones - CNEA (isabato.edu.ar)

2 El SAC-A era un satélite de 68 kg, de masa, diseñado y construido por CONAE e INVAP S.E. con el fin de validar la tecnología local. Fue puesto en órbita en 1998 a través de Space Shuttle.

Para el SAC-A, el Departamento desarrolló catorce celdas solares para ubicarlas en dos pequeños paneles y otras celdas que actuaban como sensores en el subsistema de posicionamiento del satélite. Estas últimas implicaron ciertos desafíos, puesto que debían cumplir ciertos parámetros en cuanto a la eficiencia eléctrica (Claudio Bolzi, comunicación personal, 07 de octubre de 2023).

En marzo de 2001, luego de la validación exitosa de las celdas solares de diseño y producción nacional en la misión SAC-A, el Departamento obtuvo visibilidad al interior de CNEA; el acceso a algunas fuentes de financiamiento externo para avanzar en la construcción de un laboratorio, la compra de equipamiento, la contratación de personal y la invitación por parte de CONAE para proveer celdas solares a las siguientes misiones satelitales³.

Por entonces, CONAE y CNEA suscribieron un convenio de cooperación para proveer los paneles solares de vuelo de los Satélites Argentinos de Observación con Microondas (SAOCOM). Este convenio, encuadrado dentro de la Ley N° 23.877 de promoción y fomento a la innovación tecnológica dio origen al Subproyecto Paneles Solares como parte del Proyecto SAOCOM. La ejecución de dicho subproyecto permitió desarrollar en el país las herramientas de diseño y las técnicas de fabricación, caracterización, calificación y ensayo de paneles solares para usos espaciales. En contratos posteriores, la colaboración de la CNEA con la CONAE se amplió, puesto que incluyó la provisión de la Antena Radar de Apertura Sintética para SAOCOM, así como el desarrollo y testeo de los paneles solares para la misión SAC-D/Aquarius (Bolzi et al., 2001).

Se pensaba en la provisión de las celdas de silicio. Era una locura porque no teníamos el equipamiento para la cantidad de celdas que se ne-

3 En la misión SAC-C, CONAE compró los paneles solares a una empresa italiana, la cual presentó algunos problemas que derivaron en varios atrasos de cronograma. Ante la emergencia de este problema y la falta de respuesta debido a la escasez de personal, Conrado Varotto (presidente de CONAE) ofreció a expertos locales para que participaran en la misión. Por lo tanto, dos ingenieros del Departamento viajaron a Europa, participaron de los procesos productivos de los paneles del SAC-C y observaron los estándares vigentes en las empresas extranjeras (Hernán Socolovsky, comunicación personal, 07 de octubre de 2023).

cesitaban. Teníamos el recuerdo que nos costaba hacer 20 o 30 celdas, ahora teníamos que hacer miles, y seguíamos siendo los mismos (Claudio Bolzi, comunicación personal, 07 de octubre de 2023).

Las especificaciones técnicas de potencia que requerían las misiones SAOCOM volvieron inadecuadas a las celdas de silicio, por lo que se decidió instalar unas celdas de Galio (Ga) de triple juntura. Si bien tales celdas se compraron al exterior, fue una decisión de CONAE que la mayor cantidad de los procesos involucrados se desarrollen en Argentina.

Teníamos que comprar las celdas, pero en lugar de celdas terminadas, las comprábamos en la etapa de desarrollo inicial. Era la celda pelada... Había que soldarle un diodo, soldar los componentes a las celdas, los conectores, y finalmente ponerle un vidrio a cada una de las celdas. Eso implicó desarrollar procesos de soldadura, de pegado (Claudio Bolzi, comunicación personal, 07 de octubre de 2023).

En 2007, CONAE estableció un acuerdo de cooperación con su par de Brasil, el cual posibilitó el lanzamiento del cohete VS-30 de fabricación brasileña desde el Centro de Lanzamiento da Barreira do Inferno. La misión llevaba una carga útil de diseño y producción argentina consistente en una serie de sensores, componentes claves del Sistema de Navegación, Guiado y Control. Tales sensores fueron calificados en órbita para su posterior utilización en las misiones SARE (Bolzi et al., 2005). La experiencia adquirida permitió que el Departamento de Energía Solar estuviese a cargo de la provisión de sensores solares para la misión SAC-D/Aquarius⁴ y SAOCOM. Mientras para la primera se ocupó de proveer los paneles solares del modelo de ingeniería (prototipo) y del modelo de vuelo, así como los sensores de posicionamiento, en las segundas además de los paneles y sensores, proveyó un software de simulación.

4 La misión SAC-D/Aquarius comprendió un satélite de 1600 kg. de masa, lanzado en 2011 principalmente para medir la salinidad de los océanos. El artefacto fue diseñado y construido por CONAE e INVAP S.E. En el mismo participaron varias entidades del complejo científico-tecnológico nacional y agencias internacionales.

TABLA N°1. PRODUCTOS DESARROLLADOS POR EL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA SOLAR POR SATÉLITE

SAC-A	SAC-D/Aquarius	SAOCOM	Amazonia I
Paneles solares de ingeniería	Paneles solares de ingeniería con celdas importadas de GaAs	Paneles solares de ingeniería	Sensores solares gruesos
		Paneles solares de vuelo	
Paneles solares de vuelo	Paneles de vuelo con celdas importadas de GaAs	Sensores solares gruesos	
Sensores de ángulo	Sensores solares gruesos	Software de simulación	

Fuente: elaboración propia en base a Alurralde et al, 2013; 2010; 2008; Bolzi et al, 2017; 2005; 2001; 2000; 1997; 1996; Godfrin et al, 2015; 2009; 2005; 1999; Martínez Bogado et al., 2015; Martínez Bogado, 2004; Prario et al, 2012; Tamasi et al, 2009 y Tamasi, 2003

Finalmente, el acuerdo con la agencia brasileña favoreció la firma de un convenio entre esta y la empresa INVAP S.E. para la provisión del proyecto Navigation, Control and Supervision System (SNCS) del satélite brasileño Amazonia 1 (Martínez Bogado et al, 2015). De esa forma, el Departamento a través de INVAP S.E. exportó sensores solares gruesos, convirtiéndose así en la primera exportación espacial argentina.

Capacidades tecnológicas en el DES

A lo largo de la trayectoria del Departamento de Energía Solar se pueden identificar diversas capacidades tecnológicas de absorción,

inversión, producción y de vinculación. Entre las primeras, se identificó la existencia de un umbral mínimo que permitió la aplicación de los conocimientos teóricos en física y energía para el dominio de tecnologías estabilizadas de uso terrestre. Además, dicho umbral fue clave para la incursión en el desarrollo de diversos dispositivos, componentes y subsistemas calificados para su uso en el espacio exterior. Para alcanzar esos desarrollos fue fundamental la conformación de un grupo de trabajo estable con investigadores y profesionales varios.

El grupo de trabajo del Departamento de Energía Solar creció luego de la puesta en órbita del SAC-A. Estaba integrado por profesionales de distintas ramas del conocimiento y con diversos grados de estudios superiores, por lo que se caracterizaba por la interdisciplinariedad existente, y estaba organizado a partir de un jefe y dos divisiones. Cada una de estas tenía un/a coordinador/a. La División de I+D estaba compuesta por doce investigadores (67% doctores y 33% doctorandos) y la División de Ingeniería, mayormente involucraba profesionales homónimos.

Si bien cada una de las Divisiones desarrollaba actividades específicas, los integrantes de las mismas estaban vinculados entre sí, mediante la participación conjunta: 1- en los proyectos de I+D desarrollados por el Departamento, los cuales eran financiados con fondos para Proyectos de Investigación Científicos y Tecnológicos (PICT) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANP-CyT) o fondos para los Proyectos de Investigación Plurianuales (PIP) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); 2- en eventos científicos nacionales e internacionales; y 3- en la producción de papers.

TABLA N°2. GRUPO DE TRABAJO DEL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA SOLAR SEGÚN NIVEL DE ESTUDIO

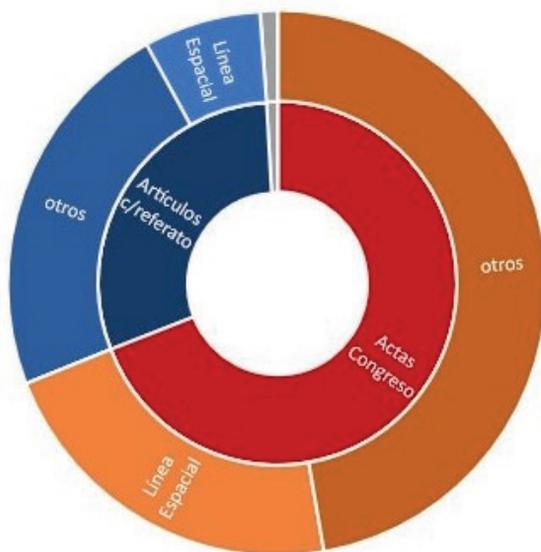
Nivel de estudio	Área de estudio	N°	Total
Doctores	Ciencia y Tecnología	6	11
	Física	1	
	Ciencias Físicas	2	
	Ingeniería	1	
	Ciencias Aplicadas e Ingeniería	1	
Magíster	Energía Renovables	1	1
Licenciados	Química	1	3
	Física	2	
Técnico	Química	1	1
Arquitecto	Arquitecto	1	1
Ingenieros	Automático	1	6
	Mecánico	1	
	Aeronáutico	1	
	Electrónico	1	
	Energía	2	
Estudiante	Ingeniería	1	1
Sin datos	Sin datos	4	4

Fuente: elaboración propia en base a datos de Integrantes | Depto. Energía Solar - Gcia. Investigación y Aplicaciones - CNEA (isabato.edu.ar) (recuperado el día 30/10/2021)

El Departamento de Energía Solar, en tanto entidad de I+D desarrolló varias producciones científicas. En el período 2000-2022 se registraron 197 publicaciones, de las cuales un 30% correspondían a temas referidos a aplicaciones espaciales. El 75% de las publicaciones espa-

ciales correspondían a actas de conferencias, mientras el 25% restante eran artículos con referato en revistas nacionales e internacionales.

GRÁFICO N° 1. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ESPACIAL DEL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA SOLAR ENTRE 2000-2022



* Metodológicamente se definió identificar como espaciales a las publicaciones que incluyeran en su título o palabras claves los siguientes conceptos: espacial, satelital, SAC, SAOCOM, CubeSat y geoestacionario

Fuente: elaboración propia en base a datos de CNEA - GIYA "Laboratorio Tandár" - Actividades Científicas: Publicaciones año 2000

A excepción de un artículo, el resto de las producciones tenían un carácter colectivo, en las cuales interactuaron profesionales de las dos Divisiones del Departamento, profesionales de diversos Departamen-

tos de la Gerencia de Investigaciones y Desarrollo de la CNEA en el Centro Atómico Constituyentes, profesionales del Centro Atómico Bariloche, CONICET, el Instituto Nacional de Investigaciones Industriales (INTI), profesionales del Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y dos instituciones dependientes del Consiglio Nazionale delle Ricerche de Italia.

El relevamiento, sistematización y análisis de los informes técnicos e investigaciones publicadas, en tanto cristalizaciones de la actividad del personal tecnológico, permitieron identificar múltiples capacidades de producción e inversión vigentes en el Departamento de Energía Solar a lo largo de su trayectoria. Metodológicamente, se seleccionaron dieciocho publicaciones del Departamento, referidas al diseño y producción de dispositivos fotovoltaicos espaciales. Luego de la selección, se definieron una serie de codificaciones -asociadas a las categorías analíticas- que permitieron contabilizar y clasificar las capacidades de producción presentes en los textos, considerando no sólo los productos y componentes elaborados, sino el desarrollo de bienes de capital, máquinas-herramientas y procesos específicos. Estos dos últimos niveles, si bien menos visibilizados, dan cuenta de más del 75% de las capacidades existentes.

Los componentes principales eran las celdas de silicio. Los bienes de capital comprendían desde los mecanismos para pegar y alinear el vidrio en cada una de las celdas, los dispositivos para la colocación del adhesivo, los contenedores para el traslado de las mismas, entre otros. Entre los procesos estaban el soldado de los interconectores a las celdas, los pegados de los vidrios, de los diodos y demás componentes. También los diversos procesos de ensayos (eléctricos, térmicos, de adhesión, entre otros).

TABLA N°3. CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA SOLAR POR SATÉLITE

	SAC-A	SAC-D/Aquarius	SAOCOM	
Componentes	Celdas solares de Si	Celdas solares de Si	Celdas solares	
	Cintas de Cu laminadas y estañadas			
Bienes de capital	-	Sistema de alineación celda-vidrio	Matrices para posicionamiento y alineación	
		Distribuidor de adhesivo	Dispositivo para ensayos de tracción	
		Cámara de vacío	Pinzas neumáticas	
		Contenedor de traslado	Contenedores de traslado	
Procesos	Soldado de interconectores a las celdas	Soldado por resistencia de interconectores	Fabricación y ensayos de interconectores	
	Pegados múltiples	Pegados múltiples	Soldado de interconectores	
	Testeo de radiación con celdas locales vs. importadas	Simulación eléctrica	Pegados múltiples	
	Ciclado térmico y vibraciones	Inspección visual y ensayos de tracción	Análisis teórico y ensayos de daño	
			Simulación eléctrica	
	Integración al panel	Ciclado térmico y de vibraciones	Ensayos de adherencia	Simulación numérica
			Modelos de estimación de energía generada	
Mediciones de radiación por telemetría	Integración al panel	Inspección visual y ensayos de adherencia		

		Mediciones de radiación por telemetría	Ciclado térmico y vibraciones
			Integración al panel

Fuente: elaboración propia en base a Alurralde et al., 2013; 2010; 2008; Bolzi et al., 2017; 2005; 2001; 2000; 1997; 1996; Godfrin et al., 2015; 2009; 2005; 1999; Martínez Bogado et al., 2015; Martínez Bogado, 2004; Prario et al., 2012; Tamasi et al., 2009 y Tamasi, 2003.

Si bien los productos, componentes y procesos estaban basados en conocimientos teóricos y complejos cálculos matemáticos, la construcción práctica de los mismos se caracterizaba por un fuerte desarrollo artesanal. El soldado, pegado, la integración y el montaje de las celdas solares al panel fueron realizados de manera manual o mediante herramientas construidas ad hoc pieza por pieza. De igual forma, los primeros ensayos y testeos de cada celda o sensor solar fueron realizados de forma visual. Las apreciaciones sensitivas fueron complementadas con los ensayos térmicos y de vibraciones.

El desarrollo práctico de cada uno de los procesos también se basó en la experiencia acumulada, en especial a partir de la resolución de algunos problemas técnicos. Uno de esos problemas se debió a que el método de pegado de los vidrios a las celdas generaba que, durante la fase de horneado algunos se rompieran. Ante ello, los ingenieros revisaron los procesos de selección de adhesivo, los niveles de adherencia y secado y trabajaron en su mejora.

Sabíamos al menos algunas cosas que no había que hacer, y en el transcurso de los desarrollos nos dimos cuenta de que había cosas que servían para pegar tres celdas, pero no servían para pegar cien celdas. Entonces hubo cosas que cambiar y mejorar (Claudio Bolzi, comunicación personal, 07 de octubre de 2023).

La necesidad de revisión de los procesos productivos más las exigencias que imponían CONAE y las agencias internacionales que participaban en las misiones satelitales, especialmente durante SAOCOM,

llevaron a que el Departamento comience a producir informes. Si en los momentos iniciales la escritura de documentos se tornaba innecesaria e improductiva (debido especialmente a estrecha interacción existente y al número reducido de miembros), luego comenzó a ser necesaria. Por lo tanto, la producción de documentación se dio de manera progresiva, en especial a partir de una fuerte interacción con CONAE (Claudio Bolzi, comunicación personal, 07 de octubre de 2023).

FIGURA N°2. MONTAJE DE CELDAS EN PANELES SOLARES E INSPECCIÓN VISUAL DE LOS NIVELES DE ADHERENCIA



Fuente: Aplicaciones espaciales | Argentina.gob.ar

Además de las varias capacidades productivas listadas, el Departamento de Energía Solar contaba con las numerosas capacidades de inversión de la CNEA y sus dependencias. Tenía ocho laboratorios con sofisticados equipamientos: laboratorio de integración y ensayo de paneles solares acondicionado como sala limpia de acuerdo a la normativa internacional (Clase ISO 7); línea para obtener los daños

por radiación y sometimiento a ambientes hostiles; laboratorio fotovoltaico; laboratorio de caracterización; laboratorio de ensayos de inversores fotovoltaicos; laboratorio para el recubrimiento de materiales; laboratorio para el crecimiento de Si con el objetivo de utilizarlo en la elaboración de celdas solares espaciales; y el laboratorio auxiliar.

Durante la trayectoria del Departamento de Energía Solar se identificaron y clasificaron múltiples capacidades tecnológicas, las cuales la estabilizaron como una institución con presencia en la cadena de valor satelital local a partir de la provisión de diferentes dispositivos fotovoltaicos (sensores, celdas y paneles solares). De acuerdo a ello, surgió la siguiente pregunta, ¿qué procesos de aprendizaje sustentaron tales capacidades?

Procesos de aprendizajes durante el desarrollo de los artefactos fotovoltaicos

El Departamento de Energía Solar, en tanto institución dependiente de CNEA se dedicó de forma complementaria a la investigación básica como a la investigación aplicada. En forma estilizada es posible identificar a lo largo de su trayectoria diversos procesos de aprendizajes. Por un lado, se destacó el aprendizaje formal académico producto de la realización de estudios de grado y posgrado (maestrías y doctorados) en el Instituto de Tecnología Prof. Jorge A. Sábato (Universidad Nacional de San Martín) y en general, con espacio de trabajo en el Departamento. Por otro lado, estas mismas instancias de formación favorecieron el desarrollo de aprendizajes por la práctica (Arrow, 1962), o a través de interacciones entre pares o con los responsables de los proyectos (Lundvall, 1985).

Los proyectos de tesis referidos a desarrollos espaciales estuvieron incluidos en proyectos o programas de mayor alcance del Departamento de Energía Solar, vinculados a los objetivos presentes en el Plan Espacial Nacional. De acuerdo a ello, estas investigaciones al tiempo que permitieron formar recursos humanos en física, energía solar o en materiales, constituyeron los primeros pasos para el diseño, desarrollo, caracterización y/o calificación de dispositivos fotovoltaicos para uso espacial. Tales investigaciones, entonces com-

prendieron desde el análisis teórico y procesos prácticos, hasta la interacción con terceros.

Si bien es posible identificar procesos de internalización conceptual propio de la formación académica y la socialización de tales conceptos en seminarios, reuniones y lugar de trabajo en general, resulta clave señalar que el Departamento de Energía Solar, en tanto institución dedicada a la investigación científica privilegió los procesos de exteriorización. Todos los investigadores de las dos Divisiones debieron reflexionar sobre su propia praxis y los conocimientos y habilidades derivados de ello para su posterior codificación. El proceso de codificación, además de las instancias de reflexión personal comprendía las instancias de discusión colectiva en las cuales se combinaban los conceptos construidos.

Las tesis de grado y posgrado, memorias de congresos nacionales e internacionales y publicaciones en revistas científicas constituyen cristalizaciones de las interacciones establecidas entre los responsables e investigadores del Departamento de Energía Solar. Sin embargo, también fueron claves las interacciones con el personal de otras instituciones locales -el INTI y el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF)- y centros del extranjero. Las mismas dieron lugar a una sinergia dado que, en general se gestaron a partir de dinámicas de cooperación. Además de estas interacciones, el Departamento de Energía Solar a través de CNEA estableció vínculos con INVAP S.E.

A partir de las interacciones con INVAP S.E. los desarrollos fotovoltaicos del Departamento de Energía Solar no sólo llegaron al espacio en satélites nacionales de órbita baja sino también en un satélite extranjero, el Amazonia I, lanzado en el año 2021. Además, la confiabilidad de los artefactos fabricados por INVAP S.E. posibilitó que los sensores fotovoltaicos de diseño y fabricación local fueran adquiridos por OHB System AG, una empresa italiana y contratista principal de las últimas misiones emprendidas por la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés). A partir de la exportación de estos bienes espaciales, INVAP S.E. (y a través de esta empresa, la CNEA y el Departamento de Energía Solar) logró ingresar al mercado europeo mediante la venta de veinticinco sensores solares.

Más allá de los aprendizajes formales y los aprendizajes por interacción, el Departamento acumuló conocimientos de forma práctica. El diseño de artefactos con distintos grados de innovación, la experimentación, la medición de los datos según las expectativas creadas y la resolución de problemas técnicos fueron claves en la trayectoria de la institución.

Consideraciones finales

Las dimensiones analizadas en el presente artículo posibilitaron responder las preguntas planteadas en un inicio: ¿Qué capacidades tenía el Departamento de Energía Solar que favorecieron su vinculación con CONAE? ¿Qué capacidades desarrolló a partir de su inserción en los proyectos satelitales? y ¿Cuáles fueron los procesos de aprendizajes que sustentaron tales capacidades?

El Departamento de Energía Solar combinó de manera sinérgica la específica formación teórica de las universidades, en especial del Instituto Sábató, con la constitución de una densa red de interacciones con centros de investigación locales e internacionales. Asimismo, un rasgo predominante a lo largo de su trayectoria fue la codificación de conocimientos, su presentación y discusión en instituciones académicas al menos por parte de aquellos que asistían de forma asidua a Congresos y Jornadas de investigación. Ello posibilita afirmar que en los procesos de aprendizajes hubo una estrecha articulación entre saberes académicos, explícitos y codificados con saberes y habilidades prácticas y/o tácitas. Estos últimos fueron claves en especial en el desarrollo de los distintos procesos productivos.

El alto umbral establecido por las capacidades de absorción junto a las capacidades de inversión permitió que el Departamento de Energía Solar desarrolle productos, componentes, bienes de capital y procesos productivos, necesarios en el diseño, fabricación, integración y testeo de los dispositivos fotovoltaicos. La eficiencia de tales productos posibilitó que los mismos se establezcan al interior de la cadena de valor satelital local de órbita baja.

Si bien el Departamento de Energía Solar cuenta con hitos importantes aún no participó de las misiones argentinas que tenían como

objetivo brindar servicios de comunicaciones. Las exigencias comerciales, la variación entre la vida útil de las misiones científicas y las de comunicaciones, así como las extremas condiciones ambientales a las que se ven sometidos los satélites geostacionarios impidieron su participación. Más allá de ello, el Departamento cuenta con las capacidades necesarias para el desarrollo de procesos específicos, las cuales se sostienen en la trayectoria previa.

El caso de estudio resulta relevante puesto que, en términos históricos reconstruye el inicio de los desarrollos tecnológicos para el uso y explotación de energías no convencionales en Argentina. Asimismo, permite identificar la integración sinérgica de una institución del complejo científico-tecnológico nacional en una cadena de producción de tecnologías de alto valor agregado. Dado que la estructura argentina se caracteriza por la desarticulación existente entre el complejo de ciencia, tecnología e innovación y el sector tecno-productivo, el análisis empírico permite trazar nuevas líneas de investigación. Desde el análisis de políticas, el caso de estudio se constituye en un insumo para indagar los procesos de diseño y formulación de políticas públicas en general, y tecnológicas en particular, así como para analizar los procesos de articulación de distintos tipos de políticas, a nivel nacional e internacional. Desde una perspectiva económica, el caso permite analizar y evaluar los desarrollos tecnológicos fotovoltaicos en tanto dinamizador de la estructura tecno-productiva local, así como los efectos generados a partir de la inserción de tecnología argentina en los mercados internacionales. Finalmente, desde los estudios de la ciencia y la tecnología permite profundizar en las interacciones sostenidas entre distintas entidades del complejo científico-tecnológico local e instituciones foráneas, aspecto de relevancia dados los objetivos de colaboración regional presentes en los dos planes nacionales vinculados al sector satelital.

Agradecimientos

Este artículo se realizó en el marco del 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”. Programa del IESCT-UNQ, Programa de Estudios Interdisciplinarios (PROE-SI) de la Universidad Nacional de Luján y Beca Doctoral CONICET.

Bibliografía

- ARRIGUI, G. (1990). “The developmentalist illusion: a reconceptualization of semiperiphery”. En: W. G. Martin, *Semiperipheral states in the world economy*. Westport Wesport: Greenwood Press, pp. 11-42.
- ARROW, K. (1962). “The Economic Implications of Learning by Doing”. *The Review of Economic Studies*, 29(3): 155-173.
- BLINDER, D. (2018). “Política espacial argentina: rupturas y continuidades (1989-2012)”. En: Aguiar, D; M. Lugones, J. M. Quiroga y F. Aristimuño (dirs.), *Políticas de ciencia, tecnología e innovación en la Argentina de la posdictadura*. Río Negro: Editorial UNRN:
- CÁCERES, Y. (2022a). “Dinámicas socio-cognoscitivas en un sector conocimiento-intensivo. Nahuelsat S.A. (1933-2007)”. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 33(65 may-ago). Disponible en <https://doi.org/10.33255/3365/1080>.
- CÁCERES, Y. (2022b). “Política y Tecnología. Los satélites de aplicaciones científicas (1985-2000)”. En: Vaccarezza, L.; 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*. Bernal: Editorial UNQ.
- CAIRO, H. (2023). “Geo-Politizando los Espacios Intermedios del Sistema-Mundo: Semicentros y Semiperiferias, Geoestrategias de Subordinación y de Autonomía en América Latina y Europa Meridional tras la Guerra Fría”, *DADOS*, Río de Janeiro, 66(4): 2-39.
- CASELLES, V. y R. RIVAS. (2001). “El SAC-C: Primer Satélite Argentino de Observación de la Tierra”. *Revista de Teledetección*, (15).
- CHASE-DUNN, C. y HALL, T. D. (2018). *Rise and demise: comparing world-systems*. Nueva York y Abingdon: Routledge.
- COHEN, W. y D. LEVINTHAL. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. Special Issue: Technology, Organizations and Innovation. 35(1):128-152.
- DE DICCO, R. (2007). “Satélites Argentinos serie SAC”. *Ciencia y Energía*, 1-28.
- DREWES, L. (2014). *El sector espacial argentina: Instituciones referentes, proveedores y desafíos*. ARSAT, Empresa Argentina de Soluciones Satelitales. Benavidez, Argentina.

- GUTTI, P. (2008). Características del proceso de absorción tecnológica de las empresas con baja inversión en I+D: un análisis de la industria manufacturera argentina. Tesis de maestría, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires.
- HALL, T. y Chase-Dunn, Ch. (2006). "Global social change in the Long Run". En: Chase-Dunn, Ch. y s. Babones (eds). *Global Social Change. Historical and Comparative Perspectives*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- HURTADO, D. (2015). "Semiperiphery and capital-intensive advanced technologies: The construction of Argentina as a nuclear proliferation country". *Journal of Science Communication*, 14 (2), A05.
- KATZ, J. (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.
- KIM, L., (2001). "La dinámica del aprendizaje tecnológico en la industrialización". *Revista Internacional de Ciencias Sociales* (168): 153-169. Disponible en <https://www.oei.es/historico/salactsi/limsu.pdf>
- LALL, S. (1992). "Technological Capabilities and Industrialization". *World Development*, 20(2): 165-186.
- LUNDVALL, B. (1985). *Product Innovation and User-Producer Interaction*. Aalborg: Aalborg University Press.
- MAFFEO, A. J. (2003). "La guerra de Yom Kippur y la crisis del petróleo de 1973". *Revista Relaciones Internacionales*, 25.
- NONAKA, I. y Takeuchi, H. (1995). *La organización creadora del conocimiento*. Oxford, Oxford University Press.
- RAPOPORT, M. (2016). *Historia oral de la política exterior argentina (1966-2016)*. Editorial Octubre: Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- SARTORI, G. (2018). "La cooperación científica y tecnológica entre Italia y Argentina". En Foti, I. y J.C. Pésico (Coord.). *Italia & Argentina. 10 ensayos sobre la relación bilateral*. UNLP. La Plata.
- SECRETARÍA DE ENERGÍA. (2009). Balance energético nacional. Serie 1960-2007. Argentina.
- TAYLOR, P. J. y Flint, C. (2002). *Geografía Política: Economía Mundo, Estado-Nación y Localidad*. Madrid: Trama Editorial.
- THOMAS, H. (2008). "Estructuras cerradas versus procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico". En: Thomas, H. y A. Buch (Comp.) *Actos, actores y artefactos*. Bernal: Editorial UNQ.
- THOMAS, H. (1999). Dinâmicas de inovação na Argentina (1970-1995) Abertura comercial, crise sistêmica e rearticulação, Tesis de

- doctorado, Departamento de Política Científica e Tecnológica. UNICAMP, Campinas.
- VALLES, M. (1999). *Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional*. Madrid. Editorial Síntesis.
- VAROTTO, C. (1994). "Welcome Addresses. Second Euro-Latin American Space Days". Proceedings of the conference held CONAE. Buenos Aires, Argentina. Norman Longdon. European Spacial Agency.
- WALLERSTEIN, I. (1979). *El moderno sistema mundial*. Tomo I. México: Siglo XXI editores.

Fuentes consultadas

- ALURRALDE, M. et al. (2008). "Modelos de ingeniería y calificación de paneles solares para la misión satelital Aquarius/SAC-D". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (12).
- ALURRALDE, M. et al. (2010). "Integración y ensayos de los paneles solares de vuelo para la misión satelital Aquarius/SAC-D". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (14).
- ALURRALDE, M. et al. (2013). "Development of solar arrays for Argentine satellite missions". *Aerospace Science and Technology*, (26): 38-52.
- BARRERA, M. et al. (2004). "Últimos desarrollos en celdas solares de silicio cristalino en la CNEA". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (8).
- BOLZI, C. et al. (1996). "Elaboración y caracterización de celdas y paneles solares de Silicio cristalino para su ensayo en el satélite SAC-A". *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de la ASADES*. Buenos Aires.
- BOLZI, C. et al. (1997). "Elaboración y caracterización de celdas y paneles solares de silicio cristalino para su ensayo en el satélite SAC-A". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (1).
- BOLZI, C. et al. (2000). "Primera experiencia de celdas solares argentinas en el espacio: elaboración, caracterización y análisis de datos de telemetría del satélite SAC-A". *Energías Renovables y Medio Ambiente*, (8).
- BOLZI, C. et al. (2001). "Convenio de cooperación CONAE-CNEA: desarrollo, fabricación y ensayos de paneles solares para misiones satelitales argentinas". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (5).
- BOLZI, C. et al. (2005). "Desarrollo, fabricación y ensayo de paneles solares para uso espacial en la CNEA". V Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y Estructurales. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.

- BOLZI, C. et al. (2017). “Paneles solares de la misión satelital SAOCOM 1A: integración y ensayos”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (40): 1-8.
- BOLZI, C. (07 de octubre de 2023). Entrevista personal al ingeniero Claudio Bolzi. Director de Proyecto del Departamento de Energía Solar, Comisión de Energía Atómica. Buenos Aires.
- CAMPENNI, V. (22 de octubre de 2019). Entrevista personal al Ing. Vicente Campenni, Gerente General de INVAP S.E., San Carlos de Bariloche, Argentina.
- CARUSO, D. (2016). “Misiones satelitales del Plan Espacial Nacional. Aportes de los organismos del Sistema Científico Tecnológico Nacional”. CONAE.
- Decreto PEN N°1164/60. Crease la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Infoleg. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, Argentina, 28 de enero de 1960.
- Decreto PEN N° 995/91. Crease la Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Infoleg. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, Argentina, 03 de junio de 1991.
- Decreto PEN N°2076/94. Apruébase el Plan Espacial Nacional. Infoleg. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, Argentina, 28 de noviembre de 1994.
- Decreto PEN N°176/97. Proyecto X-33 de la NASA. Infoleg. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, Argentina, 5 de marzo de 1997.
- Decreto PEN N°1330/99. Apruébase el Plan Espacial Nacional 1997-2008. Infoleg. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, Argentina, 17 de noviembre de 1999.
- GAUSMANN, R. (24 de Octubre de 2019). Entrevista personal al Lic. Ricardo Gaussman, Manager de la División Aseguramiento de Producto de INVAP S.E. San Carlos de Bariloche, Argentina.
- GODFRIN, E. M., et al. 1999. “Primera experiencia de celdas solares argentinas en el espacio. Análisis preliminar de los resultados”. Buenos Aires: Grupo de Energía Solar, Dpto. De Física. Centro Atómico Constituyentes. CNEA
- GODFRIN, E.M., et al. (2005). “Misión satelital SAC-D/Aquarius: diseño preliminar del panel solar y simulaciones del comportamiento del subsistema de potencia”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (9).
- GODFRIN, E., D et al. (2009). “Misión satelital Aquarius/SAC-D: simulación y estimación de la potencia del modelo de vuelo de los paneles solares”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (13).

- GODFRIN, E.M. y J. Durán. (2015). “Subsistema de potencia del SAC-D: comparación de datos de telemetría con simulaciones”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (19): 93-100.
- MARTÍNEZ BOGADO, M. (2004). Diseño, elaboración, caracterización y ensayos de dispositivos fotovoltaicos para usos espaciales. Tesis de Doctorado en Ciencia y Tecnología, mención en Física. Universidad Nacional de San Martín, Comisión Nacional de Energía Atómica, Instituto de Tecnología “Prof. Jorge A. Sábato”, Argentina.
- MARTÍNEZ BOGADO, M., et al. (2015). “Desarrollo de sensores solares en Argentina. Aplicaciones terrestres y espaciales”. *Revista Brasileira de Energía Solar*. 6(1): 57-67.
- PRARIO, I., et al. (2012). “Paneles solares del SAC-D/Aquarius: análisis de los datos de telemetría del primer año en órbita”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (16).
Res. CNEA 411/10 BAP 71/10 CNEA.
- SOCOLOVSKY, H. (07 de octubre de 2023). Entrevista personal al ingeniero Hernán Socolovsky del Departamento de Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires.
- TAMASI, M. (2003). Celdas solares para uso espacial: optimización de procesos y caracterización. Tesis de Doctorado en Ciencia y Tecnología, mención en Física. Universidad Nacional de San Martín, Comisión Nacional de Energía Atómica, Instituto de Tecnología “Prof. Jorge A. Sábato”, Argentina.
- TAMASI, M., et al. (2009). “Sensores fotovoltaicos para la misión satelital Aquarius/SAC-D y ensayos ambientales”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (23): 19-26.

Diseño y producción de tecnologías duales

CAPÍTULO 5

EL SISTEMA DE TECNOLOGÍA NUCLEAR EN ARGENTINA. ANÁLISIS DE LA TRAYECTORIA SOCIO-TÉCNICA DE LA PRODUCCIÓN DE RADIOFÁRMACOS CON BLANCOS DE URANIO DE BAJO ENRIQUECIMIENTO

Mariano Venturini

CNEA

Guillermo Santos

IESCT/UNQ/CIC/BA

Introducción

Si bien la tecnología nuclear constituye una importante herramienta con una amplia gama de aplicaciones, desde la producción de energía hasta el uso médico, se encuentra hoy en día fuertemente regulada por diversos organismos internacionales y tratados internacionales¹ en virtud de su carácter dual: la tecnología nuclear puede ser utilizada tanto para fines bélicos, como pacíficos.

Los diversos tratados a nivel internacional para la regulación de la actividad nuclear y la no proliferación de material bélico constituyen en importantes reguladores de la actividad nuclear en todo el mundo, demarcando posicionamientos entre países desarrollados con capacidad de producción de armas nucleares y la limitación en cuanto a la producción de tecnología nuclear para los no poseedores.

1 Nos referimos en particular al Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina y el Caribe, conocido como Tratado de Tlatelolco del 14 de febrero de 1967 y al Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP) del 1 de julio de 1968, en vigor desde el 5 de marzo de 1970.

Sin embargo, la Argentina constituye una interesante excepción. Su integración a estos tratados de no proliferación de armas nucleares y de regulación de la actividad de producción nuclear, lejos de constituir un impedimento para el desarrollo de tecnología nuclear, favoreció el desarrollo local de un tipo específico de tecnología que la posicionó como un país líder en el sector. Nos referimos a la producción de radiofármacos con blancos de uranio de bajo enriquecimiento.

En efecto, el desarrollo nuclear es un proceso complejo y heterogéneo, que se ha visto limitado por las condiciones impuestas por el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares [en adelante TNP]. Uno de sus usos más difundidos fuera del ámbito bélico es el que se despliega en el campo médico. Específicamente en la producción y uso de radioisótopos para imágenes médicas, como el Molibdeno 99 (MO99)-Tecnecio 99m (Tc99) que es producto de la fisión del isotopo uranio 235 (U235). Este es el mismo elemento que produjo la explosión nuclear de Hiroshima en el año 1945.

Pero ¿qué ocurre cuándo organismos públicos como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que produce tecnología nuclear, debe operar en sistemas socio-institucionales y tecno-económicos restrictivos? O, en otros términos, ¿cómo se desarrollan productos intensivos en conocimiento en países en vías de desarrollo como el nuestro?

La Argentina es descripta a menudo como un país productor de bienes con escaso valor agregado y exportador de commodities. Suele decirse también que su dinámica tecno-productiva suele caracterizarse por la importación de tecnologías como principal mecanismo de cambio tecnológico, el desarrollo de trayectorias innovativas de bajo riesgo, alto pragmatismo y escasa definición estratégica, escasa participación de las unidades públicas de I+D en la dinámica innovativa local y baja permeabilidad de los actores tecnológicos a las diferentes políticas científicas y tecnológicas implementadas (Thomas, Santos y Fressoli, 2013). Resulta de particular interés entonces analizar una experiencia de desarrollo tecno-productivo local que escapa a esta caracterización general.

El objetivo de este trabajo es analizar cómo ha sido posible la construcción de funcionamiento de tecnologías duales en Argentina. Mediante el análisis de la trayectoria socio-técnica de la producción de

radiofármacos por fisión nuclear con blancos de uranio de bajo enriquecimiento es posible responder las siguientes preguntas: ¿Cómo ha sido posible el desarrollo de una tecnología de alta complejidad? ¿Cómo ha logrado viabilidad tecno-productiva, político-institucional y económico-financiera? ¿Por qué es estratégico el posicionamiento de la Argentina como productora de tecnologías duales?

La reconstrucción analítica de esta trayectoria socio-técnica aportará una mejor comprensión del proceso de co-construcción de tecnologías, normativas, ideologías, políticas públicas y dinámicas de desarrollo tecno-productivo, y ofrecerá nuevas explicaciones acerca del funcionamiento/no funcionamiento de las políticas públicas orientadas a generar productos y procesos conocimientos-intensivos.

Cuatro conceptos básicos enmarcan el análisis desplegado en el presente artículo (Thomas y Buch, 2008).

- Procesos de co-construcción de actores y artefactos. La noción de co-construcción sostiene que la sociedad es tecnológicamente construida, así como la tecnología es socialmente conformada. Tanto la configuración material de un sistema como la asignación de sentido de funcionamiento de una tecnología (artefacto, organización o proceso productivo) se construyen como derivación contingente de las disputas, presiones, resistencias, negociaciones y convergencias que van conformando el ensamble heterogéneo entre actores, conocimientos y artefactos materiales.

- Trayectoria socio-técnica. Una trayectoria socio-técnica es un proceso de co-construcción de productos, procesos productivos y organizacionales, e instituciones, relaciones usuario-productor, procesos de learning, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor (firma, institución de I+D, universidades, etc.), en el marco de una alianza socio-técnica. Las trayectorias socio-técnicas son re-construcciones del analista.

- Relaciones problema-solución. Los “problemas” y las relaciones de correspondencia “problema-solución” constituyen construcciones socio-técnicas. En los procesos de co-construcción socio-técnica la participación relativa del accionar problema-solución alcanza tal carácter dominante que condiciona el conjunto de prácticas socio-institu-

cionales y, en particular, las dinámicas de aprendizaje y la generación de instrumentos organizacionales.

El conocimiento generado en estos procesos problema-solución es en parte codificado y en parte tácito (sólo parcialmente explicitado: signado por prácticas cotidianas, desarrollado en el marco del proceso de toma de decisiones).

- **Funcionamiento /no-funcionamiento.** El “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de un artefacto es resultado de un proceso de construcción socio-técnica en el que intervienen, normalmente de forma auto-organizada, elementos heterogéneos: condiciones materiales, sistemas, conocimientos, regulaciones, financiamiento, prestaciones, etc. De esta forma, el “funcionamiento” de los artefactos no es algo dado, “intrínseco a las características del artefacto”, sino que es una contingencia que se construye social, tecnológica y culturalmente (Pinch y Bijker, 1987; Oudshoorn y Pinch, 2003). Supone complejos procesos de adecuación de respuestas/soluciones tecnológicas a concretas y particulares articulaciones socio-técnicas históricamente situadas.

El “funcionamiento” o “no-funcionamiento” de una tecnología es una relación interactiva: es resultado de un proceso de construcción socio-técnica en el que intervienen elementos heterogéneos: sistemas, conocimientos, regulaciones, materiales, financiamiento, prestaciones, etc. Es posible plantear que se construye funcionamiento en el marco de procesos de adecuación socio-técnica: procesos auto-organizados e interactivos de integración de un conocimiento, artefacto o sistema tecnológico en una trayectoria socio-técnica, socio-históricamente situada. El funcionamiento/no-funcionamiento de una tecnología deviene del sentido construido en estos procesos auto-organizados de adecuación/inadecuación socio-técnica: la adecuación genera funcionamiento (Thomas y Buch, 2008).

Este trabajo se compone de tres secciones. En la primera sección, a continuación, se presentará los elementos que componen el sistema de tecnología nuclear dual (desde ahora lo denominaremos STeND) y se señalará la relevancia analítica de este concepto para enmarcar y comprender la construcción socio-técnica del funcionamiento de la producción de radiofármacos con blancos de uranio de bajo enriquecimiento. Luego, en la segunda sección, se analizará la trayectoria so-

cio-técnica de este proceso productivo en el marco de las restricciones (y posibilidades) normativas impuestas por los TNP. Finalmente, la tercera sección corresponde a las conclusiones.

Se enfatizarán en las conclusiones los alcances y limitaciones de la producción de radiofármacos con blancos de uranio de bajo enriquecimiento y se sostendrá que este proceso productivo conocimiento-intensivo no funciona sólo porque resuelve problemas puntuales, sino porque las alianzas en las cuales se insertan son eficientes en la generación de procesos de cambio y desarrollo social. Así, la política pública no es el resultado de una decisión racional, sino de la acción de actores heterogéneos dispuestos en distintas configuraciones institucionales y normativas, en las que adquieren función y sentido.

El Sistema de Tecnología Nuclear Dual (STeND)

La producción de radiofármacos con blancos de uranio de bajo enriquecimiento forma parte de un conjunto de elementos heterogéneos (tecnológicos y no tecnológicos) que denominaremos “Sistema de Tecnología Nuclear Dual (STeND)” y que permite explicar el particular estilo socio-técnico de producción de tecnologías conocimiento-intensivas en Argentina.

Se define a la tecnología como dual en función de su capacidad de ser empleada tanto para objetivos civiles como militares. Así, las armas químicas y biológicas son ejemplos paradigmáticos de tales tipos de tecnologías duales (Atlas y Dando, 2006). Sin embargo, la tecnología dual que ha suscitado mayor inquietud es la nuclear, inicialmente desarrollada con fines bélicos y posteriormente diversificada para usos civiles (Sagan 1994).

Para ambos tipos de desarrollo -militar y civil-, el proceso de enriquecimiento del uranio natural con el isótopo ^{235}U es esencial. Pero también, el ^{235}U es el componente principal en los reactores de potencia, investigación y producción de radioisótopos debido a sus propiedades fisiles. Debido a esta propiedad, la producción de ^{235}U está desde fines de la década de 1960 bajo control del Consejo de Seguridad de la ONU para su producción y comercialización (Vera 2012).

A partir de la fisión del U^{235} se obtiene el Molibdeno-99/Tecnecio-99 (Mo^{99}/Tc^{99}), el radionucleido más utilizado en el campo de medicina nuclear. Este producto se obtiene a partir de la fisión del U^{235} irradiado en reactores dispuestos en placas de una aleación de aluminio ($UAlx-Al$ o $U3Al8-Al$), con U^{235} (Blanco de uranio). El uranio radiactivo se descompone (decaimiento), produciendo varios elementos diferentes, uno de los cuales es el Molibdeno-99. Luego, este Molibdeno-99 también se descompone, convirtiéndose en Tecnecio-99 (Tc^{99}). El Tecnecio-99 es utilizado en medicina nuclear para realizar exámenes de diagnóstico, en especial para la toma de imágenes de órganos y tejidos humanos.

Los reactores que producen Tc^{99} a nivel mundial pueden ser clasificados en dos categorías en función del contenido de U^{235} en los blancos de irradiación. Por un lado, los reactores que operan con blancos de bajo enriquecimiento de uranio al 20% (LEU por sus siglas en inglés– Low Enrichment Uranium) y por el otro, los que utilizan uranio enriquecido al 90% (HEU por sus siglas en inglés–High Enrichment Uranium).

Estos últimos, desde finales de la década de 1970, se encuentran con restricciones para su uso, ya que según los tratados internacionales se considera que los blancos de U^{235} al 90% puede ser una amenaza armamentística. La utilización de núcleos LEU reduce significativamente los riesgos asociados con su uso potencial en armas y facilita la producción del radioisótopo Tc^{99} .

La Argentina cuenta con reactores operativos LEU desde el año 2003 como consecuencia de su temprano desarrollo nuclear, en un principio con la decisión de no firmar el TNP pero posteriormente con un cambio de posición frente al Tratado de Tlatelolco en el año 1967 y al Tratado de No Proliferación Nuclear de 1968.

Esto se debió entre otras cuestiones a las enmiendas que buscaban formas de restringir la distribución de U^{235} a países no productores con tecnología HEU, pero que limitaban por otro lado las capacidades de producción de Tc^{99} (IAEA, 2016a).

En efecto, para gestionar los riesgos asociados con estas tecnologías se desarrolló un sistema legal complejo, con acuerdos políticamente vinculantes que incluyeron normas, y programas de cooperación orientados a la no proliferación y la seguridad nuclear. Las organiza-

ciones técnicas se constituyeron como centros de control del acceso a este tipo de elementos, pero también tuvieron el rol de establecer controles tecnológicos en base a la educación, programas y circuitos comerciales que evitaran la proliferación de estas tecnologías duales (Rothwell, 2009; National Academic Press, 2018).

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se constituye así como la figura relevante dentro del sistema legal de no proliferación y un poder de agencia sobre el desarrollo nuclear bajo la figura y posicionamiento sobre los acuerdos y cooperación internacional pero, también, en las instituciones de seguridad de los países productores de tecnología nuclear.

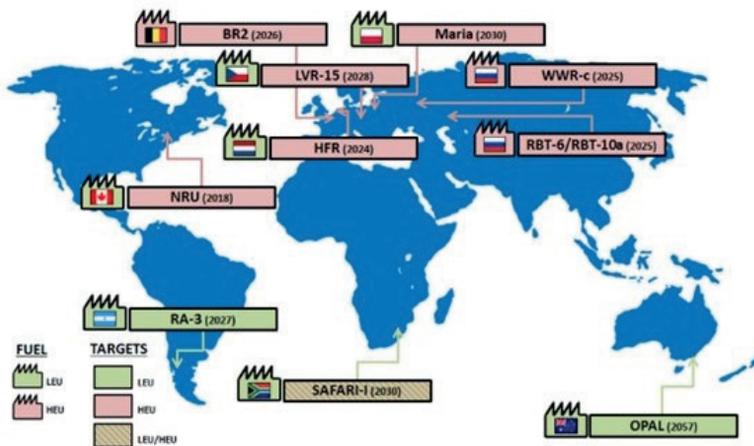
En este contexto, a pesar de la postura pacífica de Argentina y su participación en los acuerdos de Ginebra sobre “Usos Pacíficos de la Energía Nuclear”, el país, aunque ofreció su apoyo, se abstuvo de firmar hasta 1994, considerando que dichos tratados no habían tenido un impacto significativo en las relaciones internacionales ni en el comercio de tecnología nuclear. Esta percepción se fundamenta en la falta de respaldo de las potencias nucleares a los protocolos adicionales I y II, lo que llevó a Argentina a concebir el tratado como ineficaz (Ledesma, 2007). Este enfoque podría sintetizarse con la expresión de Castro Madero: “el desarme de los desarmados” (Carasales, 1987)

Desde entonces, los proveedores nucleares comenzaron a exigir garantías a quienes les vendían, configurándose así en forma paulatina un régimen de comercialización de material y tecnología nuclear. En otras palabras, los países exportadores de tecnología nuclear comenzaron a establecer restricciones y condiciones para comerciar y transferir tecnologías sensitivas del área nuclear. Entre ellas, el U^{235} , insumo fundamental para los blancos de producción. La limitación de U^{235} como insumo de producción de radiofármaco obligaba a readaptar los reactores existentes o importar el Tc^{99} .

Con el objetivo de evitar la proliferación de armas nucleares y de controlar el comercio internacional se creó en 1974 el Grupo de Suministradores Nucleares (GSN), el cual tuvo inicialmente cuarenta y ocho participantes. El objetivo del GSN fue impedir que el comercio de material nuclear contribuyera a la proliferación de armas nucleares o de otros dispositivos explosivos nucleares. Las directrices del GSN alentaron el desarrollo del comercio, proporcionando los medios para

respetar la obligación de facilitar la cooperación nuclear pacífica de una forma compatible con las normas internacionales en cuestión de no proliferación nuclear (Nuclear Suppliers Group, 2023).

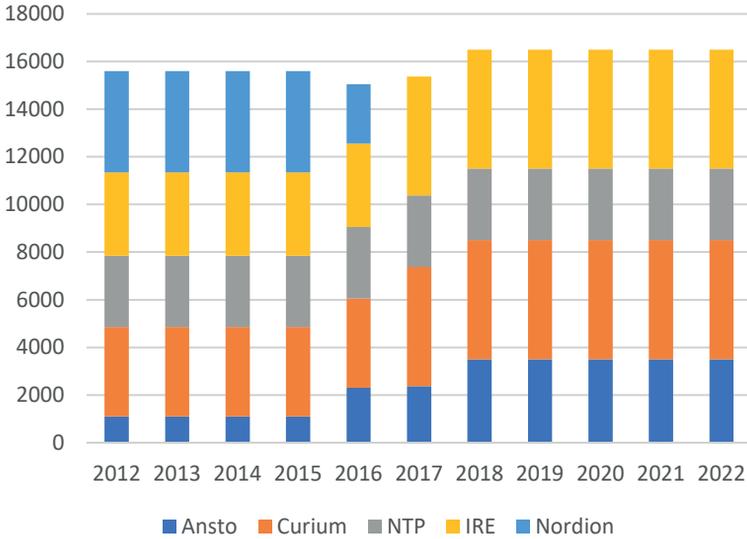
FIGURA I: DISTRIBUCIÓN DE LOS REACTORES DE PRODUCCIÓN DE RADIOFÁRMACOS EN EL MUNDO CON FECHA DE CADUCIDAD. EN ROSA SE MUESTRAN LOS REACTORES HEU MIENTRAS QUE EN VERDE LOS REACTORES LEU. SAFARI (SUD) POSEE BLANCOS AL 40%



Fuente: <https://nap.nationalacademies.org/read/24909/chapter/5#14>

Como consecuencia, el mercado de tecnología nuclear en reactores de producción de radioisótopos y combustibles nucleares quedó altamente centralizado y controlado por un pequeño número de países (Fig 1). La mayoría de los reactores de producción de radioisótopos se encuentran en Norteamérica y Europa, y la producción se concentra en unos pocos proveedores principales.

GRÁFICO I: PRODUCCIÓN DE Tc⁹⁹ POR EMPRESAS



Fuente: Physicsworld, 2018 («Can Nuclear Medicine Avoid Another Mo-99 Shortage?» 2018) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. Molybdenum-99 for Medical Imaging. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23563>.

Los principales actores del mercado de reactores de producción de radioisótopos son empresas como Rosatom State Atomic Energy Corporation (Rusia), China National Nuclear Corporation (China), General Electric Company (Estados Unidos), INVAP (Argentina) y Siemens AG (Alemania). Por su parte, el mercado de radioisótopos hasta el año 2016 era abastecido por 5 empresas distribuidas de la siguiente manera: Mallinckrodt Pharmaceuticals (Irlanda), MDS Nordion (Canadá), IRE (Europa), NTP (Sudáfrica), Isotop-NIIAR (Rusia) y ANSTO (Australia).

En el Gráfico 1 se muestra la capacidad de curies (Ci)² producidos en base al Tc⁹⁹. En la gráfica se observa un mercado estable hasta el 2016. Posteriormente, se aprecia una merma en los Ci y una posterior evolución a un nuevo equilibrio. Esto se debió a que, en 2016, Nordion cerró su reactor por lo que salió del mercado y, también, en 2017 se creó Curium mediante la adquisición de Mallinckrodt por parte de IBA Molecular (Bélgica). De esta manera, el mercado desde el 2018 paso a tener una reconfiguración como se muestra en las barras finales del gráfico, quedando de la siguiente manera:

- Curium produce Tc⁹⁹ del reactor HFR en Bélgica; y el reactor María en Varsovia (Polonia) con una capacidad a aproximadamente 4500 Ci por semana;
- ANSTO produce 2300 Ci por semana teniendo un 25% de mercado;
- NTP Radioisotopes tiene una capacidad de 1400 Ci por semana.
- IRE produce 3500 Ci por semana utilizando un proceso de LEU. Esa producción representa aproximadamente el 25% de la demanda mundial semanal. IRE también tiene contratos para tomar el suministro de Mo⁹⁹ del HFR en los Países Bajos, el BR2 en Bélgica y el reactor LVR-15 en la República Checa.

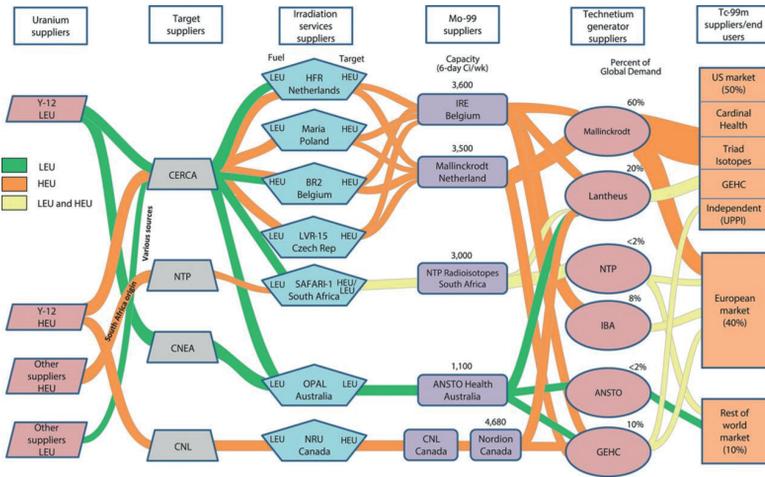
A su vez, siete países están construyendo nuevos reactores de investigación, y varios otros están planificando la construcción de reactores nuevos o estudiando la posibilidad de construirlos, como instalaciones nacionales. Esto son un elemento clave para el desarrollo de infraestructura y programas de ciencia y tecnología nucleares (Allen y Manson, 2013).

Como se comentó anteriormente, la producción de radioisótopos está estrechamente vinculada al suministro de U²³⁵, placas de blancos y reacondicionamiento de materiales nucleares gastados de los reactores. Estos elementos se adquieren inicialmente mediante contratos y se ejecutan a través de la venta del paquete tecnológico asociado. Con el tiempo, esto puede ser ofrecido en nuevas licitaciones de acuerdo al reactor en operación. Una representación gráfica de esta concatenación

2 Unidad de radioactividad. Se definió como al equivalente al número de desintegraciones que sufrirá un gramo de radio-226 en un segundo.

ción de suministros nucleares se muestra en la figura 3 con los principales proveedores de la cadena mundial de tecnología nuclear.

FIGURA 2: CADENA DE SUMINISTRO PARA LA PRODUCCIÓN DE RADIOFÁRMACOS DE FISIÓN



Fuente: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016.

ANSTO, IRE y NTP poseen acuerdos de suministro y para ello han constituido la Southern Radioisotopes Alliance Inc., una alianza que tiene como objetivo ayudar a optimizar las rutas de suministro y reducir las pérdidas por decaimiento del material nuclear. También permite coordinar sus programas de operación de reactores y proporcionar capacidad de respaldo mutuo. ANSTO y NTP venderán el Tc99 a la alianza, que a su vez lo suministrará a los clientes.

Por su parte, la empresa ANSTO se beneficia de la tecnología argentina desarrollada por CNEA-INVAP, siendo el reactor RA3 el precursor en el uso de blancos LEU. El RA3 tiene capacidad para producir el 5% del mercado internacional, pudiendo cubrir el abastecimiento interno con escaso excedente exportable.

Efectivamente, el posicionamiento argentino en torno a la adhesión al Tratado de No Proliferación ejerció una influencia directa en los avances tecnológicos de la tecnología dual y en la provisión de uranio enriquecido (Hurtado, 2009). Sin embargo, se pueden detectar contribuciones tecnológicas con objetivos pacíficos que surgieron a partir de la interacción entre las regulaciones impuestas y la competencia adquirida por la CNEA.

La Argentina fue pionera en reconversión y diseño de reactores con LEU del cual se estableció un complejo de exportación nuclear exponiendo al país como un actor clave en la producción de reactores de producción de radioisótopos, reactores y elementos combustibles con usos pacíficos (Briozzo, 2015). La tecnología no se dio en forma aislada. Se destaca su heterogeneidad y complejidad, ya que la misma transcurre y se desarrolla en el marco de su carácter dual y en el contexto de una nación limitada por tratados internacionales para fabricar U^{235} .

Trayectoria socio-técnica de la producción de radioisótopos con blancos de uranio LEU

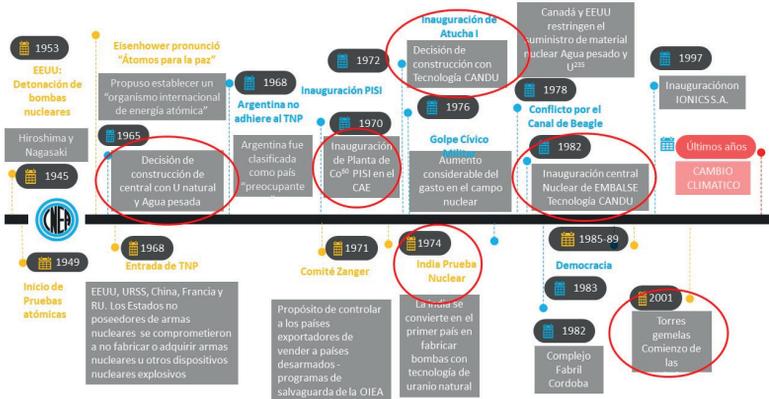
La producción de radiofármacos se realiza en la CNEA desde la década de 1960 en todo lo que se refiere a producción, purificación, marcación y aplicación como insumo médico en hospitales. En efecto, la CNEA dedica esfuerzos para la aplicación de I+D en la fabricación de reactores, la formación de recursos humanos y el propio desarrollo de los radioisótopos requeridos para los diagnósticos y tratamientos. En las décadas de 1970 y 1980, con advenimiento de nuevas tecnologías para el diagnóstico por imágenes, la CNEA orientó sus esfuerzos al desarrollo y producción para el mercado nacional e internacional de Tc^{99} .

Se presenta a continuación un análisis de la trayectoria socio-técnica de la producción del radiofármaco con blancos de uranio LEU, lo que permitirá comprender mejor el funcionamiento del Sistema de Tecnología Nuclear Dual en Argentina y del complejo de exportación nacional.

Para el análisis de trayectoria se partirá desde los inicios de la CNEA, de manera de visualizar la capacidad adquirida y la co-cons-

trucción de normativas, conocimientos y productos y procesos que dieron lugar a la formación y funcionamiento del STeND.

FIGURA 3: TRAYECTORIA DE LA TECNOLOGÍA DUAL NUCLEAR EN ARGENTINA Y EL MUNDO.



Fuente: elaboración propia.

Se expondrá la competitividad comercial del sector, basada en las capacidades técnico-científicas desarrolladas, que afianzan en la senda de la dualidad y los tratados internacionales de no proliferación. Se puede identificar tres etapas: la primera que incluye la formación y consolidación del complejo nuclear argentino, la segunda que se caracteriza por el desarrollo del complejo nuclear argentino en el marco de la Guerra Fría y por la no adhesión de la Argentina a los TNP y finalmente la tercera etapa, en la que el país se inserta en el mundo como productor de tecnología nuclear pero como adherente a los TNP.

Se considerarán cuatro elementos para comprender las capacidades tecnológicas localmente generadas: la construcción y operación de reactores nucleares, la tecnología de obtención de radiofármacos de fisión por blancos LEU, la aplicación como elemento de diagnóstico y las tecnologías de regulación.

En la Figura 3 se destacan las fechas y acontecimientos que forman parte de la trayectoria socio-técnica de la tecnología dual nuclear en Argentina.

a) 1ra. etapa 1953-1974

El desarrollo nuclear argentino se produjo en el contexto de la Guerra Fría, bajo la vigilancia enmarcada en el acuerdo Átomos por la Paz de 1953 y las constantes detonaciones nucleares realizadas en el mundo hasta 1961, cuando se establecieron acuerdos internacionales de no proliferación de armas nucleares. En este marco, el presidente de la CNEA anunció en 1956 la adquisición de la ingeniería de un reactor experimental a la compañía General Electric con la condición de que Estados Unidos pudiera verificar su uso a través de inspectores a cambio de la mencionada ingeniería y el apoyo y capacitación en la carrera de Ingeniería Nuclear en el Laboratorio Nacional de Argonne en Estados Unidos. Es así que la Argentina construyó el primer reactor, el RA-1.

Esta decisión estratégica permitió la expansión de las industrias base, la formación de recursos humanos altamente calificados y el desarrollo tecnológico e investigación científico-tecnológica en tecnología nuclear. Esta iniciativa ejemplifica el uso de la tecnología como herramienta para el desarrollo socioeconómico y la importancia de la capacidad de producción local en la construcción de infraestructura científico-tecnológica (Marzorati, 2003; Hurtado, 2005).

En el año 1967, Latinoamérica se declaró como Zona Libre de Armas Nucleares bajo el tratado de Tlatelolco y de esta manera, fue un atenuante para la cooperación internacional y continuar el desarrollo como “nuclearmente libre de armas”. Es así que, al principio de esta década se licita el edificio de construcción del RA-3 para la producción de radioisótopos.

El RA-3 fue inaugurado en el Centro Atómico Ezeiza el 20 de diciembre de 1967 con una potencia de 0,5 MW y, durante el año 1968, se completaron detectores de radiación y blindajes y el segundo circuito de refrigeración. En el año 1969 el reactor comenzó a operar regularmente a potencia máxima de 2,5 MWt, suficiente para la producción de radioisótopos.

En 1970 se inició la producción de radioisótopos y al año siguiente el reactor operaba regularmente a 4 MWt de potencia, realizándose pruebas a 5 MWt y 6 MWt, llegando a 10 MW y comenzando así con la producción de Tc^{99} teniendo como insumo blancos HEU al 90% de U^{235} (Barrachina Gomez, Carrillo y Dorado, 1982; Peano, 2020).

En el plano internacional, se consolida en el año 1971 el comité de Zangger como un organismo para controlar a los países exportadores de tecnología nuclear, los cuales solo podían hacerlo a países desarmados nuclearmente y debían estar sometidos a los programas de salvaguarda de la OIEA. Esto tenía un efecto directo en la adquisición de U^{235} .

En este mismo año se logra cubrir cerca del 30% de la demanda interna de radioisótopos con producción nacional de radioisótopos, en 1972 se logra sustituir casi el 60% de la importación, y para 1973 el 80% de la demanda interna es cubierta con producción nacional.

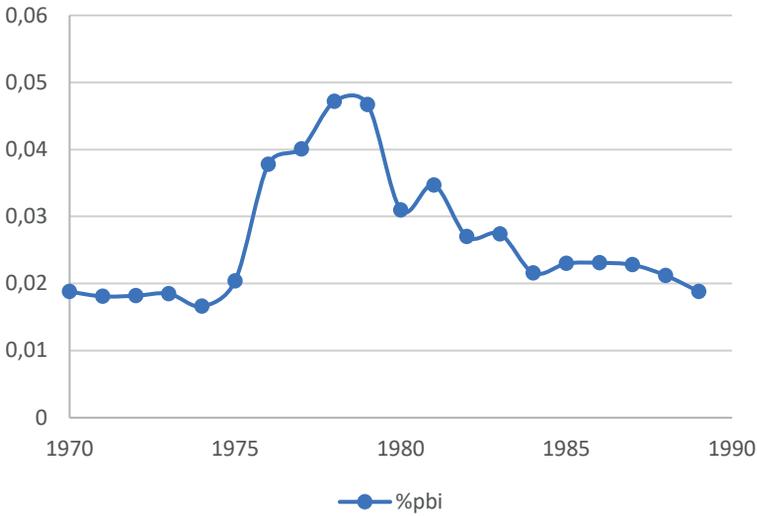
A mediados de 1974 se completó la Planta de Producción de Ezeiza, elemento necesario para la purificación a escala masiva de radioisótopos, mecanizándose el proceso de producción de radioisótopos consiguiendo el autoabastecimiento en 1975.

Uno de los hechos que cambio el sistema de regulación fue la explosión de la bomba atómica en India en el año 1974. Siendo India un país no desarrollado demostró la capacidad tecnológica de producción de armas a pesar de tener lo que se consideraba un abastecimiento pobre en U^{235} . A partir de este es que se comenzó a ejercer un papel más restrictivo de la comercialización de U^{235} .

b) 2da etapa 1975-1994

La no adhesión a los TNP permitió que la Argentina pudiera disponer de inversión tecnológica y completar el ciclo del combustible. A partir del 1975, el gasto militar aumento considerablemente, llegando a su pico máximo en el año 1978, mostrando un cambio sustancial en términos de usos de la tecnología nuclear para usos pacíficos. Un años después, el golpe cívico-militar en la Argentina aceleró el plan nuclear. A su vez, en 1976 se crea INVAP como un brazo de producción de la CNEA.

GRÁFICO 2: EVOLUCIÓN DEL GASTO MILITAR ARGENTINO.



Fuente: <https://datosmacro.expansion.com/estado/gasto/defensa/argentina>

Sin embargo, la negativa de la Argentina por firmar el Tratado de No Proliferación y la alerta que despertó la explosión nuclear en la India en 1974, sumado al conflicto militar con Chile, generó una gran agitación en los organismos internacionales de control ante la supuesta capacidad de fabricación de una bomba nuclear. A partir de esto, los organismos internacionales sometieron a la duda de los fines pacíficos del campo nuclear argentino.

En 1978, Canadá suspende el suministro de agua pesada y EEUU hace lo mismo con el suministro de uranio enriquecido a los países que se negaban a firmar el TNP. Es por ello que la Argentina comienza a reducir las importaciones de U^{235} para sus reactores HEU de producción de radioisótopos, ya que son considerados proliferantes duales (Hurtado, 2009).

En la segunda mitad de los 80, la Argentina decidió convertir el núcleo del reactor de investigación y docencia RA-6 del Centro Atómico Bariloche como prueba para la conversión de los blancos de HEU a LEU de alto a bajo enriquecimiento en el RA-3. Esto implicó

el diseño y la fabricación de los nuevos elementos LEU. Al mismo tiempo, en 1985, se firmó el contrato para la construcción de un reactor nuclear de investigación en Argelia, de 1 MW de potencia térmica inaugurada en 1989 el cual es similar al Reactor Argentino RA-6.

En la década de los noventa, la posibilidad de abastecimiento externo de uranio altamente enriquecido se vio interrumpida debido al aumento de la presión internacional vinculada a las políticas de no-proliferación nuclear, y al progresivo agotamiento del inventario existente. Estas circunstancias obligaron a reemplazar localmente el uso de Uranio HEU (U^{235} al 90%) por Uranio de bajo enriquecimiento LEU (U^{235} menor al 20%), a fin de evitar la detención de la producción nacional de Tc^{99} .

Al mismo tiempo, en 1990 se conformó el marco jurídico bilateral entre Argentina y Brasil, denominado Agencia Brasileño-Argentino de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC) para contabilidad bilateral de nuclear teniendo un reconocimiento de la comunidad nuclear internacional por la eficaz labor realizada desde su creación.

En 1992, EEUU aprobó la enmienda Shumer restringiendo la exportación de U^{235} y condicionando el uso de blancos LEU con fecha límite el 2005. También en estos años, se produjo la cancelación de contratos que la empresa INVAP S.E había firmado con Irán para el desarrollo de su Plan Nuclear continuando así con el abastecimiento de U^{235} por EEUU.

Debido a esta enmienda restrictiva y la conformación de la ABACC que otorgaba una relajamiento de tener el fin de un desarrollo armamentístico, la Argentina ingresan al Grupo de Países Proveedores Nucleares y ratifica y adhiere al Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares en 1995, dando las señales de compromiso para el uso exclusivamente pacífico la no proliferación de las armas nucleares (Marco et al., 1994; Colombo, Guglielminotti y Vera, 2017).

Esto dispuso que Argentina integrara su producción a la del mercado internacional, a través de la exportación de tecnología nuclear a países como Perú, Argelia y Egipto, pero a costas del desmembra-

miento y debilitamiento de las capacidades de desarrollo, por ejemplo: el misil Cóndor³ y el proyecto Pilcaniyeu⁴.

c) 3era etapa 1994-2023

En 1992 Argentina pre adjudicó una planta de radioisótopos en Egipto, pero recién se hizo efectivo el contrato en 1997 al que se sumó la modernización del reactor ETRR 2 alcanzando la potencia de producción en 1998.

Esta tecnología fue exportada siendo la más moderna en su tipo construida por INVAP y se encuentra en Inshas, en las afueras de El Cairo, Egipto, el ETRR-2 similar al del Centro Atómico Ezeiza, el cual produce Tc⁹⁹ por medio de blancos de bajo enriquecimiento de uranio, con diferencia en el sistema tradicional.

En 1999, INVAP es seleccionada, luego de una licitación internacional convocada por la AEA, para la provisión de dos nuevas plantas: una instalación para el almacenamiento de elementos combustibles, y una planta para la producción de radioisótopos, firmándose los respectivos contratos en El Cairo el 31 de mayo de 1999 (INVAP, 2023).

El reactor australiano de agua liviana en pileta abierta (OPAL, por sus siglas en inglés) es una instalación multipropósito, con un fuerte sesgo para la producción de radioisótopos. Está ubicado en Sídney. El OPAL ha sustituido al viejo Reactor Australiano de Alto Flujo (HIFAR, por sus siglas en inglés), teniendo 20 MW de potencia térmica,

3 Los cohetes Cóndor y Cóndor II fueron dos desarrollos llevados a cabo por la Fuerza Aérea Argentina entre 1979 y 1990. Estas tecnologías, duales, permiten tanto el desarrollo de misiles con fines militares, como de lanzadores satelitales (cohetes espaciales). A principios de los años 90 el gobierno de Carlos Menem decidió la cancelación del proyecto y la dispersión de los científicos afectados al mismo debido a presiones internacionales y a la política de “alineación automática” con los Estados Unidos.

4 El Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP) es una instalación de la CNEA que se encuentra ubicada en el paraje Pichileufú Arriba, a 60 km. de Bariloche. Allí se encuentra la Planta de Enriquecimiento de Uranio destinada a potenciar el combustible nuclear de los reactores de potencia. La planta de uranio enriquecido de Pilcaniyeu fue desactivada en 1984 por ser considerada inviable a nivel económico y por presiones políticas de Estados Unidos.

del tipo de pileta abierta, trabaja con uranio de bajo enriquecimiento y está enfriado con agua desmineralizada, y alcanzó plena potencia en noviembre de 2006 (Grobocopatel, 2016).

TABLA I: VENTAS EN DÓLARES ESTADOUNIDENSES DE LOS RADIOISÓTOPOS Mo⁹⁹. 2006

Radioisótopos y compuestos marcados	2002	2003
Molibdeno-99	5508	6521
Yodo-131	432	515
Cromo-51	0.088	0.133
Fósforo-32	0.158	0.321
Samario-153	2.83	3.7
Hipurato-I-131	0.028	0.072
Actividad	5943.104	704.226
Facturación anual	2.109.922	3.011.139

Fuente: Cristini (2006)

A partir del segundo semestre de 2002, la Argentina se convirtió en el primer país en utilizar blancos de uranio de bajo enriquecimiento en U²³⁵ (20%), para la producción comercial de Mo⁹⁹ por fisión, con resultados comparables con los que venía obteniendo con los blancos de alto enriquecimiento (90%) (Cristini et al., 2002). También la producción local y comercialización se incrementó con respecto a 2002 de acuerdo al siguiente cuadro comparativo en la Tabla 1, con excedente de exportación.

La comercialización en el exterior de Tc⁹⁹ se realiza a través de la empresa Dioxitek, la cual se ha convertido como el principal proveedor de radioisótopos a nivel regional. Existe una creciente demanda de Tc⁹⁹ en el mundo y el futuro retiro de la oferta de uno de los prin-

cipales proveedores, la Comisión Nacional de Energía Atómica ha comenzado a construir el Reactor RA-10 en el CAE y contiguo a él una nueva planta para la producción de radioisótopos por fisión.

Este tipo de desarrollo, logró obtener la licitación para la provisión de elementos combustibles de bajo enriquecimiento para el reactor de investigación MARIA de Polonia.

De la mano de sus proyectos locales y las exportaciones emblemáticas de INVAP en asociación con la CNEA, como la del reactor de investigación multipropósito OPAL a Australia en 2006, se consolidó el fortalecimiento de la imagen de la República Argentina como un actor de referencia regional e internacional en la materia, potenciando su participación en diversos foros y organismos multilaterales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO, por sus siglas en inglés), el Grupo de Suministradores Nucleares (NSG), el Marco Internacional para la Cooperación en Energía Nuclear (IF-NEC), la Iniciativa Global para Combatir el Terrorismo Nuclear (GICNT) y, la incorporación extraordinaria a la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD).

El impacto económico que este tipo de reactores genera en los países proveedores es de triple alcance: el reactor en sí, la provisión de Tc^{99} y los blancos LEU. A esto, además, se le debe sumar que el reactor RA-10 posee la capacidad de irradiar combustibles y también de producir silicio dopado⁵. Este último, es un comercio en el que su reactor similar, el OPAL le ha sido una herramienta a Australia con las exportaciones a China.

5 La conductividad del silicio se aumenta añadiendo una pequeña cantidad de átomos pentavalentes (antimonio, fósforo o arsénico) o trivalentes (boro, galio, indio). Este proceso se conoce como dopaje y los semiconductores resultantes se conocen como semiconductores dopados o extrínsecos. El silicio dopado es un material semiconductor de alta calidad, necesario para producir componentes electrónicos de alta potencia (Cintas, s/f).

Análisis de la trayectoria socio-técnica de la producción de radioisótopos con blancos de uranio LEU

En términos generales, los desarrollos tecnológicos suelen pasar desapercibidos como fenómenos no políticos, ignorando por completo precisamente esa dimensión política que les subyace. Esto se debe, en gran medida, a que se considera que la política no es una responsabilidad científica y que no se puede hacer nada para cambiar las tradiciones establecidas. Si bien es cierto que los trabajos científicos suelen ser concebidos con buenas intenciones, no siempre se logran resultados positivos, especialmente cuando se trata de aplicaciones prácticas. En contraste, la política se enfoca en la creación de instituciones que perduren en el tiempo y en la consolidación de estructuras que garanticen la estabilidad y el bienestar de la sociedad.

En este contexto, es relevante destacar que el desarrollo tecnológico que tuvo lugar en la década de los 90 se contrapuso con una tendencia generalizada de desacreditación de la intervención estatal, basada en las ideas del Consenso de Washington. Esto llevó a un proceso de desmantelamiento de las estructuras estatales y a una orientación hacia el mercado como principal motor de desarrollo. Esta dinámica, lejos de resolver los problemas sociales, generó una serie de conflictos y desigualdades que aún persisten en la actualidad. Desde una perspectiva sociológica, resulta fundamental reflexionar acerca de las formas y modos en los que los procesos sociales, políticos y económicos determinan (y son determinados) por los desarrollos tecno-científicos. En este sentido cabría preguntarse si tiene la Argentina una política nuclear propia que le permita contar con niveles adecuados en términos de desarrollo de soberanía tecnológica.

Una de las grandes ventajas de la Argentina como competidor en la tecnología de los reactores, fueron sus núcleos de uranio de bajo enriquecimiento, los cuales, otorgaron ventajas en torno al abastecimiento del uranio enriquecido asegurándose la provisión del combustible. Con respecto a los radionucléidos fabricados por los reactores, corriente abajo, se encuentra que los beneficios de INVAP recaen en el Proyecto Mo⁹⁹ que tiene como objetivo desarrollar la tecnología de producción de Mo⁹⁹ y otros radioisótopos de interés comercial a partir de la irradiación con neutrones blancos de bajo enriquecimien-

to, incluyendo la recuperación del uranio empleado para su reutilización. La cultura nuclear ha permitido la posibilidad de alcanzar objetivos específicos, gracias a la alta integración que se ha logrado en torno a las agendas propias.

Resulta complicado pensar que las condiciones de cooperación internacional hayan sido el único motivo que haya llevado a la reorientación de la plataforma de desarrollo para lograr los eslabonamientos. La clasificación e institucionalización de estas tecnologías duales se debe a una coherencia interna que se encuentra presente tanto en la comunidad científica como en el ámbito político, donde existen normas que deben ser cumplidas a nivel macro y micro dentro de cada grupo. No obstante, cuando se presentan situaciones que desafían las normas establecidas, pueden generarse peligros letales para la humanidad.

En un contexto de crecientes conflictos sociales, las tecnologías nucleares están siendo reevaluadas y presentadas como una medida de seguridad para evitar sus posibles consecuencias negativas. Es importante reflexionar desde una perspectiva sociológica sobre cómo se producen, implementan y regulan estas tecnologías, y cómo se pueden promover formas más justas y equitativas de desarrollo tecnológico en la sociedad. En situaciones de conflicto, los deseos se entrecruzan y las políticas de diferentes actores comienzan a colisionar.

Los esfuerzos científicos, que en un principio buscaban consolidar ciertos valores, han sufrido transformaciones mediante nuevas técnicas que permiten crear y destruir artefactos y sucesos. Las capacidades de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y los eslabones de producción nacionales se han reconvertido hacia áreas comerciales de empresas privadas que operan en el ámbito nuclear, como Tecnonuclear y BACON, que se encargan de la producción de radiofármacos como el Tc⁹⁹.

La demanda tecnológica de estudio y reconfiguración de los blancos de uranio para la fisión comienza a gestarse a partir de un problema político con implicancias técnicas. El proceso de construcción parte de conocimientos, tanto tácitos como codificados, desde la planta de producción de radioisótopos como de los grupos de reactores y combustible. La dinámica comprende la relación entre los artefactos, los valores de la cultura nuclear (seguridad, no proliferación, tecnológi-

cos, entre otros), el conocimiento técnico; siendo esto lo que define el funcionamiento intrínseco al artefacto como parte de una construcción heterogénea bajo sistemas de conocimientos, regulaciones, materiales, prestaciones y financiamiento y además, geopolítico por ser contener elementos duales.

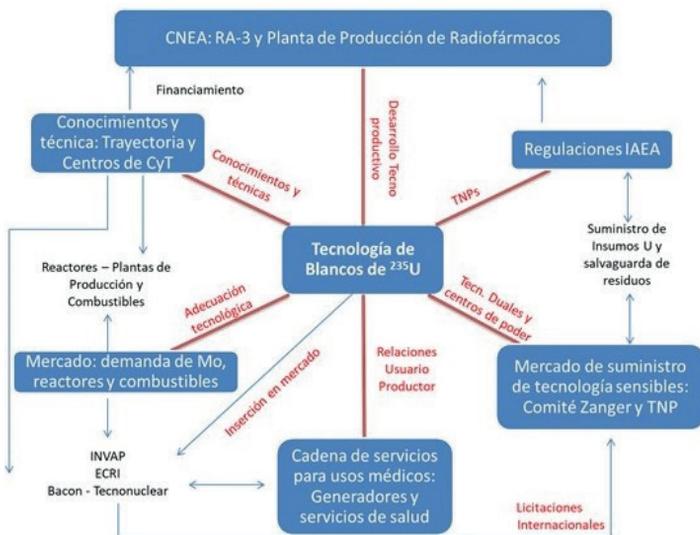
La secuencia de sucesos es compleja y heterogénea pero la solución es concreta: posicionar a la Argentina como un país pacífico y con artefactos de producción no proliferantes de armas nucleares. En este sentido, la trayectoria y los conocimientos generados de los problemas-solución que se llevaron a cabo en el país son contundentes. Tanto en el desarrollo de artefactos tecnológicos como de la política institucional en los organismos internacionales.

Sin embargo, las capacidades acumuladas y la reutilización de capacidades (learning by learning), los conocimientos tácitos y la escala monoproducción resultaron funcionales tanto a la adecuación de los proyectos encarados, adaptación y la reconsideración de la compleja causa de ser una tecnología dual. Las tecnologías nucleares distintas al enriquecimiento y reprocesamiento (como reactores nucleares) y materiales nucleares que no sean plutonio y HEU, como por ejemplo el LEU, son menos sensibles a la proliferación, aunque aún son de doble uso porque pueden estar involucrados en la producción de materiales aptos para armas (IAEA, 2016b; International Atomic Energy, 2005).

En términos de cadena de suplementos, el hecho de manejar la tecnología LEU, deja a los clientes la garantía de abastecerse de U^{235} una tecnología sensible y, permitiendo que el ECRI de CNEA exporte los blancos y reprocese el combustible gastado para volver a exportar.

En el plano de radiofármacos, el hecho de tener reactores con LEU permite ser un productor y exportador de Mo^{99} , el radiofármaco más utilizado. Cómo se mencionó anteriormente, este tiene un periodo de vida útil limitado de 66 horas. Por lo que la cercanía de los centros de producción a los centros médicos es importante.

FIGURA 4: EL SISTEMA DE TECNOLOGÍA NUCLEAR DUAL EN ARGENTINA. 2023.



Fuente: Elaboración propia

Se puede afirmar que la estrategia central del sector nuclear argentino ha sido fomentar alianzas estratégicas internacionales y la cooperación técnico-científica entre entidades locales para estimular las actividades de investigación y desarrollo y reivindicar la capacidad de aprendizaje soberano desde su génesis.

Sin embargo, en la práctica, esto ha llevado a una subordinación a programas y agendas fuera del desarrollo nuclear argentino y a investigaciones irrelevantes para un desarrollo nacional sustentable, sostenido y equitativo del sector nuclear. El sector público también posee escasos mecanismos de evaluación y criterios, y las publicaciones, congresos e invitaciones a disertaciones son los que movilizan al sector. Esto ha resultado en una falta de un plan de proyectos estra-

tégicos desde los años 80' en la CNEA, y en una orientación hacia convocatorias de la IAEA y del CONICET dirigidas a estudios académicos en lugar de la generación de productos, procesos o servicios definidos por la inteligencia estratégica local.

Para abordar este problema, se requiere una mayor conexión entre las actividades de programas internacionales y las demandas del sector nuclear argentino. Es necesario establecer criterios de pertinencia y conexión entre los financiadores y las demandas nacionales, y reorientar los esfuerzos y capacidades del sector nuclear hacia la generación de tecnologías propias en lugar de depender de tecnologías exógenas.

Para lograr esto, se necesita desarrollar un complejo sistema heterogéneo que va desde la producción de uranio hasta la disposición final y la salvaguarda, e incorporar actores externos articulados con sectores productivos de bienes y servicios. Esta estrategia de focalización puede aprovechar las potencialidades que ofrecen los núcleos socio-productivos estratégicos en el mercado de suplementos, productos y know how con posicionamiento de tecnologías emergentes. En resumen, se trata de una estrategia de desarrollo nacional soberana e independiente en el sector nuclear argentino.

Consideraciones finales

Se destaca el desarrollo de tecnología nuclear de blancos de bajo enriquecimiento como una importante contribución. Este desarrollo ha sido posible gracias a la aplicación de conocimientos en una tecnología nuclear que ha seguido una trayectoria de aprendizaje diferenciada. El éxito de este desarrollo se debe en gran medida a la política de Estado en la promoción de una sinergia virtuosa entre los agentes del sector nuclear y el gobierno con una política de autoabastecimiento. Sin embargo, esto dio en un periodo previo en el cual el Estado ha jugado un papel activo en la transferencia de conocimiento, generando estrategias de gestión en un mercado sensible con la responsabilidad de garantizar el proceso de negociación de sentidos de utilidad atribuidos por una multiplicidad de agentes que forman parte del proceso de producción de conocimiento y de definición de esos sentidos de utilidad, negociados y contingentes.

El papel de los científicos no garantiza que la utilidad, sino que es socialmente construida de forma que los elementos contextuales, en el proceso de definición de utilidad, y pueden ser analizados en tanto constriñen posibles cursos de acción que fomenten estrategias para tal fin.

Este desarrollo otorga un nuevo campo de acción, exponiendo la necesidad y de la viabilidad de la implementación de nuevas estrategias y herramientas de gestión de la innovación bajo un estado innovador.

El desarrollo tecnológico es el sustento del crecimiento económico en el largo plazo con un aumento en la productividad y la del progreso técnico y vinculación de manera de fortalecer los sistemas nacionales de innovación y articularlos entre el Estado y las empresas.

Como se mencionó anteriormente en el apartado de estado del arte, que las investigaciones científicas no están dirigidas bajo las demandas del estado. Este hecho, es una de las causas por las que el complejo científico-tecnológico no innova, implicando que la gestión no mejore sin una modernización y la calidad de las políticas soberanas de Estado.

Bibliografía

- ALLEN, C. y Mnason, L. (2013). "Managing medical radioisotope production facilities", en: Devgun, J. *Managing Nuclear Projects*, Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing.
- ANAYA, O. et al. (2002). Operación y usos del reactor RP-10, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Disponible en: <https://repositorio.ipen.gob.pe/handle/20.500.13054/227> (13/12/23).
- ATLAS, R. y Dando, M. (2006). "The Dual-Use Dilemma for the Life Sciences: Perspectives, Conundrums, and Global Solutions". *Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice and Science* 4 (3): 276-86, disponible en: <https://doi.org/10.1089/bsp.2006.4.276> (12/12/23).
- BARRACHINA GÓMEZ, M., Carrillo, M. y Dorado, D. (1982). "Producción de los Radionucleídos de Fisión: Mo⁹⁹, Yodo¹³¹ y Xenón ¹³³. Junta de Energía Nuclear Madrid. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/028/39028010.pdf (20/02/24).
- BRIOZZO, F. (2015). "Emergencia de la medicina nuclear en la Argentina: abastecimiento de radioisótopos para uso médico (1950-

- 1971)”, RIIDA-UNQ. Disponible en: <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/266> (20/02/24).
- COLOMBO, S., Guglielmonotti, C. y Vera, M. (2017), “El desarrollo nuclear de Argentina y el régimen de no proliferación”. *Perfiles latinoamericanos*, n° 49, pp. 119-139.
- CRISTINI, P. et al. (2002). “«Production of molybdenum-99 from Low Enriched Uranium Targets”, *Inis 35* (15), disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/015/35015774.pdf (09/02/24).
- CRISTINI, P (2006). Memoria y balance 2006, Producción y servicios de asistencia tecnológica. Disponible en: https://www.cnea.gov.ar/es/wp-content/uploads/files/cap5_4.pdf (20/02/24).
- DIOXITEK (s/f), “La empresa – Dioxitek S.A”. Disponible en: <https://dioxitek.com.ar/nosotros/> (26/12/23).
- GROBOCOPATEL MARRA, O. (2016). “El caso INVAP”, Universidad de San Andrés. Disponible en: <https://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/handle/10908/12099> (04/02/24).
- HURTADO, D. (2005). “El primer reactor argentino (1955-1958): átomos, militares y civiles”. *Revista Encrucijadas*, N° 33, Universidad de Buenos Aires.
- HURTADO, D. (2009). “Periferia y fronteras tecnológicas: Energía nuclear y dictadura militar en la Argentina (1976-1983)”. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad* 5 (13), pp. 27-64.
- HURTADO, D (2012). “Cultura tecnológico-política sectorial en contextos semiperiféricos: el desarrollo nuclear en la Argentina (1945-1994)”. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad* 7 (21), pp. 163-192.
- IEAE (2016a). “Feasibility of Producing Molybdenum-99 on a Small Scale Using Fission of Low Enriched Uranium or Neutron Activation of Natural Molybdenum”. Disponible en: <https://www.iaea.org/publications/10599/feasibility-of-producing-molybdenum-99-on-a-small-scale-using-fission-of-low-enriched-uranium-or-neutron-activation-of-natural-molybdenum> (20/02/24).
- IEAE (2016b), “Low Enriched Uranium (LEU) Bank”. Disponible en: <https://www.iaea.org/topics/iaea-low-enriched-uranium-bank> (21/12/23)
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2005). “Management of High Enriched Uranium for Peaceful Purposes: Status and Trends”. Disponible en: <https://www.iaea.org/publications/7146/management-of-high-enriched-uranium-for-peaceful-purposes-status-and-trends> (20/02/24).

- INVAP (s/f). “Reactor ETRR-2 de Egipto”. INVAP Investigación Aplicada. Disponible en: <https://www.invap.com.ar/areas/nuclear/reactor-etr-2-de-egipto/> (26/12/23).
- LEDESMA, L. (2007). “La posición histórica de Argentina frente al Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares (TNP) y su cambio en los 90s”. Disponible en: <http://repositorio.udes.edu.ar/jspui/handle/10908/919> (21/02/24).
- MARCO, A. et al. (1994). “Cooperación nuclear en América del Sur: El sistema común de salvaguardias brasileño-argentino”. Boletín del OIEA, 3/1994.
- MARZORATI, Z. (2003). “Plantear utopías. La formación de la comunidad científica: CNEA (1950-1955)”. Cuadernos de antropología social, n° 18. Disponible en: <https://doi.org/10.34096/cas.i18.4588> (09/12/23).
- NATIONAL NUCLEAR SECURITY ADMINISTRATION (2009). “Global Threat Reduction Initiative (GTRI)”. Nuclear Suppliers Group, Sobre el GSN. Disponible en: <https://www.nuclearsuppliers-group.org/es/sobre-el-gsn> (08/03/23).
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (2018). “Opportunities and Approaches for Supplying Molybdenum-99 and Associated Medical Isotopes to Global Markets: Proceedings of a Symposium. 2018”, Washington, D.C., National Academies Press. Disponible en: <https://doi.org/10.17226/24909> (21/02/24).
- OUDSHOORN, N. y Pinch, T (2003). How Users Matter. The Co-Construction of Users and Technology, Introducción, Cambridge: The MIT Press, pp 1-25.
- PEANO, M., (2020). “Intervenciones estatales en el área nuclear: el rol de la Comisión Nacional de Energía Atómica en el uso de radioisótopos en medicina (1983-2015)”. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS 15 (43), pp. 161-185.
- PINCH, T. y Bijker, W. (1987). The Social Construction of Facts and Artifacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge: The MIT Press.
- ROTHWELL, G. (2009). “Market Power in Uranium Enrichment”, en: Science & Global Security 17 (2-3), 132-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08929880903423586> (21/02/24).
- SAGAN, S. (1994). “The Perils of Proliferation: Organization Theory, Deterrence Theory, and the Spread of Nuclear Weapons”. International Security 18 (4), 66-107. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/2539178>.

- THOMAS, H. y Buch, A. (2008). *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Bernal: Universidad Nacional de Quilmes editorial.
- THOMAS, H., Santos, G. y Fressoli, M. (2013). *Innovar en Argentina. Seis trayectorias empresariales basadas en estrategias intensivas en conocimiento*, Buenos Aires: Lenguaje Claro editorial.
- VERA, N. (2012). “Argentina En El Régimen Internacional de No Proliferación Nuclear: Las Consideraciones Normativas e Ideacionales”. Disponible en: https://www.academia.edu/28622776/Argentina_en_el_r%C3%A9gimen_internacional_de_no_proliferaci%C3%B3n_nuclear_las_consideraciones_normativas_e_ideacionales_Argentina_and_the_International_Nuclear_Non_Proliferation_Regime_normative_and_ideational_considerations (21/02/24).
- WNA (s/f). “Australian Research Reactors | OPAL and HIFAR in Australia”, World Nuclear Association. Disponible en: <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/appendices/australian-research-reactors.aspx#ECSArticleLink15> (26/12/23).
- WNA (S/f). “Radioisotopes in Medicine | Nuclear Medicine”. Disponible en: <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine.aspx>. (21/02/24).

CAPÍTULO 6

DIVIDIR ÁTOMOS EN UN PAÍS PERIFÉRICO. ANÁLISIS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PRIMER REACTOR NUCLEAR DE AMÉRICA LATINA: EL RA1

Juan Einar Cristensen

IESCT-UNQ-CIC-BA-UNLU

Introducción

La tecnología nuclear es considerada, con mayor énfasis luego de la finalización de la Segunda Guerra Mundial, como estratégica debido a su carácter “tecnologizante” y dual, es decir, que posee la capacidad o las características para generar nuevos desarrollos en otros campos científico-tecnológicos con la posibilidad de ser utilizados o aplicados tanto en la esfera civil como en la militar. En el caso específico de la fisión del átomo, los especialistas coinciden en que la base científica, técnicas, ingenieril e industrial es la misma tanto para usos pacíficos como bélicos (Castro Díaz-Balart, 1991). Países desarrollados y en desarrollo aumentaron sensiblemente los presupuestos adjudicados a los sectores científico y tecnológico en ese momento, constatándose de esta manera la resignificación del rol de la ciencia y la tecnología para estos países en términos geopolíticos, económicos y culturales.

El desarrollo tecnológico que se visualizó a partir de mediados del siglo XX, entre los que se encontraba el área nuclear, reconfiguró la

arquitectura del sistema internacional, las relaciones, alianzas, enfrentamientos y redistribución de capacidades entre los países centrales, semiperiféricos y periféricos, así como al interior de cada uno de estos heterogéneos conjuntos de países. Además, puso en evidencia el rol central del Estado como artífice y articulador de los grandes proyectos científico-tecnológicos, especialmente los relacionados con la guerra, siendo el proyecto Manhattan un claro ejemplo (Bush, 1999). En el caso particular del desarrollo nuclear, todas las iniciativas en este campo a nivel mundial nacieron bajo la dirección y control del Estado (Quillici, 2008).

Gran parte de las potencias mundiales instalaron sus primeras centrales de potencia, o prototipos de las mismas, hacia mediados de la década del cincuenta como los casos de la URSS con la central de Obinsky en 1954, Francia con la de Marzonte en 1956, Estados Unidos en Shippingport en 1957 e Inglaterra con Calder Hall en 1956, con vistas a la obtención de plutonio¹. La electricidad era considerada, en un principio, un subproducto. En Argentina, el objetivo del plan de desarrollo nuclear, cuyo inicio y desarrollo fue paralelo en el tiempo al de estos países, fue la producción eléctrica. La creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), en mayo de 1950, vinculó directamente el desarrollo científico-tecnológico en el área nuclear con la producción de electricidad.

Además, al ser una tecnología conocimiento-intensiva, es decir, tecnologías basadas en conocimientos científicos complejos (Pavitt, 1984), el desarrollo del campo nuclear no sólo permitiría ampliar la producción energética, sino que funcionaría como impulso para la producción tecnológica autónoma, la conformación de un mercado y de una infraestructura industrial en torno a lo nuclear, que profundizara el modelo de acumulación vigente en el momento.

1 El plutonio es un material radiactivo producido en reactores nucleares. Cantidades muy pequeñas se encuentran en forma natural. El isótopo plutonio-239 es un elemento fisible, es decir, que su átomo puede dividirse cuando es bombardeado con neutrones térmicos, liberando energía, neutrones y radiación gamma. Al poder mantener una reacción en cadena son utilizados como armamento.

En el presente capítulo se abordó el diseño, desarrollo y fabricación del primer reactor nuclear de investigación² en Argentina, el RA-1 (1958). Para ello se analizó el modelo de acumulación, es decir, la industrialización por sustitución de importaciones (ISI), la política pública referida a la producción energética y al desarrollo nuclear, y el proceso de construcción del reactor, lo que permitió comprender las lógicas y sentidos vinculados con el RA-1 y el desarrollo científico-tecnológico y económico del país.

Las preguntas que guiaron la discusión e iniciaron la investigación fueron: ¿Cómo y con qué objetivos el Estado argentino promovió la construcción de reactores nucleares de investigación? ¿Cómo se construyó el funcionamiento para los desarrollos tecnológicos construidos en el país?

Para poder analizar el diseño y la construcción del reactor RA-1 es necesario tener en cuenta la configuración de los acuerdos internacionales en torno a la creación de mecanismos de control de los programas nucleares nacionales, así como la delimitación de normas, garantías y salvaguardias que permitieran prevenir y controlar cualquier desvío en dichos programas atómicos, de acuerdo a la perspectiva de los países centrales. En 1953 fue lanzado el programa “Átomos para la paz” por el presidente de Estados Unidos, Dwight Eisenhower. Era un programa internacional orientado a expandir y profundizar los usos pacíficos de la energía nuclear, asegurar el desarrollo científico-tecnológico en el área y promover la idea de que la cooperación internacional era el mejor modo de regular la proliferación nuclear. Algunos autores sostienen que dicho programa tenía como finalidad imponer la tecnología estadounidense a nivel mundial, realizar “inteligencia científica” (Briozzo, et.al, 2007: p.36) y hegemonizar dicha área a partir de la generación de flujos de comercio tecnológico desde los países centrales a los semiperiféricos y periféricos, profundizando las relaciones de dependencia tecnológica, económica, política y cultural (Vera, 2019). A su vez, sostienen que tenía la intención de resignificar social y culturalmente la energía nuclear luego de las ex-

2 Los reactores de investigación son reactores nucleares que se utilizan con fines de investigación, desarrollo, enseñanza y capacitación. Producen neutrones para su uso en la industria, la medicina, la agricultura, entre otros.

plosiones de Hiroshima y Nagasaki en 1945. En dicho escenario, la medicina nuclear fue el centro de la campaña a nivel público.

Las tecnologías deben entenderse, además, como causas centrales del surgimiento y prolongación de los ciclos de hegemonía económica y militar dentro del sistema mundial moderno. La energía nuclear acompañó el primer ciclo de hegemonía de Estados Unidos y la redistribución del poder a nivel mundial (Hurtado, 2013). El análisis del desarrollo y las aplicaciones en ciencia y tecnología de cada uno de los Estados no debe llevar a determinismos donde la posesión o no de determinado grado de capacidades científico-tecnológicas se traduzca directamente en la asignación de un papel predeterminado en el esquema de poder global, sino debe permitir analizar las articulaciones entre estos espacios al interior de los Estados y, las relaciones entre ellos. Además, las tecnologías, y en este caso la nuclear, no son por sí mismas decisivas, sino que dependen de un momento socio-histórico determinado (Vera, 2019). Debe tenerse en cuenta que Argentina es un país semiperiférico, es decir, con capacidad industrial e impulso de procesos de desarrollo dependientes (Hurtado, 2013). Por un lado, los países semiperiféricos se presentan como posibles mercados de tecnologías complejas para los países más avanzados en esta materia, pero, por otro lado, son objeto de bloqueos u obstaculización en sus desarrollos tecnológicos, ya que podrían desestabilizar el equilibrio mundial y discutir la hegemonía tecnológica de los países centrales.

Marco teórico

Para analizar la producción de tecnologías conocimiento-intensivas, como es el caso del reactor de investigación RA-1, se utilizó un marco teórico conformado por conceptos provenientes de la sociología de la tecnología y de la economía política. El fundamento para el uso de este tipo de framework analítico es que no puede realizarse un acercamiento a los desarrollos tecnológicos definiendo, a priori, factores sociales, económicos, técnicos, políticos o ideológicos, como entidades separadas.

El concepto de trayectoria socio-técnica (Thomas, 2008) permite analizar los procesos de aprendizaje, en este caso de la CNEA,

considerándolo como un proceso social, histórico, cultural, política e ideológicamente determinado. Esto permite ver los aprendizajes y capacidades acumuladas por la institución y sus integrantes desde su creación para la construcción del reactor ocho años después. Una trayectoria socio-técnica es un proceso de co-construcción de productos, procesos productivos y organizaciones, instituciones, relaciones usuario-productor, relaciones problema-solución, procesos de construcción de “funcionamiento” de una tecnología, racionalidades, políticas y estrategias de un actor -firma, institución de I+D, universidades, etc

Otro concepto central del análisis es el de funcionamiento. Para Bijker (1995), no es algo dado, algo inherente e intrínseco al artefacto en sí, sino que es una construcción social. Los artefactos, sus características técnicas y sus condiciones físicas son tan importantes como la subjetividad de los actores involucrados. El funcionamiento de un artefacto es un proceso de construcción continuo que se desarrolla desde el inicio de su concepción y diseño y que, a pesar de estabilizarse, se continúan realizando ajustes y cambios que van modelando el sentido del artefacto (Thomas, 2008). El análisis de la construcción y puesta en funcionamiento del RA-1 a partir de esta noción permite examinar no sólo los conocimientos técnicos adquiridos por la CNEA para su realización, sino también los sentidos que le fueron otorgados al reactor por parte de la propia institución y del Estado argentino.

La noción de autonomía tecnológica, en términos de Jorge Sábato (1971), “expresaba la capacidad de decisión propia de un país para elegir, proyectar, programar, instrumentar y realizar su política científica” (p.23). Este concepto es importante para analizar los objetivos primarios de la CNEA desde su constitución, y la trayectoria de la misma hasta la construcción del reactor entre 1957 y 1958. El objetivo por el cual se decide construir un reactor de investigación en este momento también puede ser analizado desde esta óptica. Construir un reactor de investigación, controlarlo, investigar y capacitar a partir de su uso permitió adquirir conocimientos técnicos, organizacionales, políticos y económicos para poder, a mediados de la década de 1960, tomar la decisión de construir una central de potencia para producción de energía nucleoelectrica.

Enrique Arceo (2003) plantea que “las características del modo de acumulación dependen de la estructura económico-social, de las luchas políticas y sociales que fueron conformando esa estructura y de la composición del bloque de clases que deviene dominante y que impone un sendero de acumulación acorde con sus intereses” (p.19). El concepto permite revincular lo económico y lo político, y pensarlos en conjunto. El modelo de acumulación queda delimitado a partir de la conformación de un bloque dominante que define la forma de propiedad y reproducción del capital dominante, la inserción en el mercado mundial y en la división internacional del trabajo, la función económica del salario, la naturaleza de las políticas públicas y la forma que adopta el propio Estado. Este proceso de imposición no está exento de conflictos, negociaciones, alianzas y disputas entre clases y fracciones de las mismas (Schorr y Wainer, 2017).

Modelo de acumulación: de la industrialización de bienes simples a bienes complejos

La necesidad de aumentar la producción eléctrica debido a la incesante ampliación de la demanda a nivel doméstico e industrial a partir de mediados de la década del cuarenta, el vertiginoso incremento de la población desde principios del siglo XX, el proceso de modernización urbana, y la idea de diversificar la matriz energética para no depender exclusivamente de la importación de carbón mineral llevó al Estado argentino a pensar la nucleoelectricidad como alternativa viable (Rodríguez, 2020). Ello puede verse explícitamente en el Segundo Plan Quinquenal cuando se afirmaba que se debían impulsar las investigaciones tendientes a lograr la producción de energía de fuentes permanentes como la eólica, así como el uso de la energía atómica (Lugones, 2020).

A mediados de la década de 1940, las mayores reservas probadas para producción energética eran las de carbón mineral (alrededor del 46% en 1946). Le seguía la energía hidráulica y luego los hidrocarburos (petróleo y gas) junto a los combustibles vegetales, que no alcanzaban el 14% del total de reservas (Hurtado, 2014). Durante los primeros gobiernos peronistas, la política energética estuvo orientada

a modificar dicha composición a favor del petróleo y el gas. En este contexto se incorporaron las primeras reservas de uranio, fuente indispensable para una futura producción de nucleoelectricidad.

El Decreto 22.855/45, presentado por Manuel Savio, quien ocupaba un lugar clave al frente de la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM), proponía preservar los depósitos de minerales estratégicos vinculados con el área atómica, como por ejemplo el uranio y el torio. La sanción del mismo se dio en septiembre del año 1945, apenas unos meses después de que Estados Unidos hiciera explotar las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki (Hurtado, 2014). Este decreto clave muestra las intenciones del Estado con respecto al campo nuclear.

La visión optimista en el mundo, a partir de la segunda posguerra, sobre las potencialidades de la energía atómica y la noción de desarrollo autónomo expandida en el país durante el primer peronismo, permitieron pensar que era posible incorporar y desarrollar capacidades propias a partir de la ejecución de proyectos de creciente complejidad, promoviendo un efecto multiplicador en el desarrollo tecnológico-productivo nacional (Briozzo, 2010) y logrando también, la retención de físicos, ingenieros y científicos en instituciones argentinas.

Una vez pensada la nucleoelectricidad como posible solución al problema del abastecimiento energético, el Estado debió definir los actores a involucrarse en dicho proceso, los recursos financieros e institucionales a otorgarse y las metas a alcanzar. La CNEA nació con ese objetivo: utilizar la energía atómica para la producción eléctrica en pos de la búsqueda de autosuficiencia energética (Lugones, 2020). La alineación y articulación de la CNEA con los intereses energéticos nacionales permitió garantizar la legitimidad del plan nuclear y de la propia institución, además de obtener crecientes recursos presupuestarios y un amplio margen de acción en torno a dicho tema.

En la Conferencia Internacional sobre la utilización de la Energía Atómica para fines pacíficos de 1955, celebrada en Ginebra, el presidente de la CNEA, Iraolagoitia, hizo su presentación acerca de las necesidades energéticas de la Argentina, sobre todo en el centro geográfico del país, donde la concentración industrial era mayor y, por lo tanto, la demanda de energía aumentaba. Un gran problema de dicha demanda era la recurrencia a la importación de combustibles para sa-

tisfacerla, por lo que el desarrollo de la energía electronuclear vendría a corregir este déficit (Hurtado, 2014).

La necesidad de un mayor y más complejo desarrollo industrial con su consecuente demanda energética llevó al Estado argentino a implementar diversas políticas para lograr el propósito de institucionalizar el sector nuclear, construyendo capacidades políticas, institucionales y organizacionales para la producción y desarrollo tecnológico con cierto grado de autonomía. La energía nuclear fue planteada y pensada con el fin de intervenir y solucionar, en parte, el posible futuro desabastecimiento. Al interior de la CNEA, también circulaba la idea de que la tecnología nuclear y todo el conocimiento generado a partir de ella sería un estímulo directo para el desarrollo y la investigación científica y tecnológica en otros ámbitos, por lo que Sábato y Botana (1968) consideraron al sector nuclear como una industria industrializante. Esto significó que, siendo una industria dinámica, podría generar innovaciones, asimilar los cambios tecnológicos y difundirlos mediante la producción de materiales, bienes de capital y prácticas organizacionales a otros sectores, y así impulsar al desarrollo del conjunto del sistema productivo y económico (Ferrer, 1976), y generar encadenamientos productivos, tanto verticales como horizontales.

Además de la cuestión energética en sí, la industria nuclear, para Carlos Castro Madero³ “ejercía un efecto multiplicador sobre otras actividades industriales” y “constituía un importante foco de atracción para los profesionales de prácticamente todas las disciplinas científico tecnológicas” (citado en Hurtado, 2009: p.34). De acuerdo a ello, puede pensarse que el sector nuclear es un ejemplo de los planteos de Jorge Sábato con respecto al triángulo compuesto por el Estado, la comunidad científico-tecnológica y el aparato productivo, así como de las relaciones entre estos vértices (Sábato, 1971).

Desde sus inicios, el desarrollo de la tecnología nuclear estuvo orientado a vincularse con el sistema industrial. Dicha política estuvo marcada tanto de manera institucional (con los propósitos de la CNEA, de diversos organismos estatales y del propio Estado) como de los actores que participaban en dicho espacio, siendo Jorge Sába-

3 Carlos Castro Madero (1927-1990) fue un militar argentino y presidente de la CNEA entre 1976 y 1983. En 1984 fue contratado por la OIEA como consejero.

to⁴ y Celso Papadópulos⁵ algunos de los exponentes principales. La incidencia del Estado fue central para el desarrollo de los diversos proyectos y la orientación que debían tomar éstos durante la ISI (Belini y Rougier, 2008), adoptándose así, una estrategia que tuvo como idea rectora el desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas endógenas, mediante las cuales se lograría la autonomía del país, tanto en materia de decisión como de producción.

La dependencia de la tecnología importada implica, en general, la pérdida de autonomía en la política industrial y en el comercio exterior, impidiendo utilizar los recursos productivos y el capital nacional (Diamand, 1976). Por ello, se presentaba como acuciante y central el desarrollo industrial y tecnológico del país en diversos sectores considerados estratégicos como el metalmecánico, energético en general (hidrocarburos, hidroeléctrico, nuclear), automotriz, entre otros. Los planes quinquenales del peronismo afirmaban que se debían crear las condiciones necesarias a fin de que la ciencia y la técnica argentina se desarrollen plenamente para felicidad del Pueblo y la grandeza de la Nación (2do Plan Quinquenal, 1953).

En el caso del área nuclear, fue el Estado el que desarrolló por completo este espacio estratégico (Quillici, 2008) siendo la CNEA, por su arquitectura legal (Decreto PEN N° 22498/56), el organismo estatal encargado de la importación, control, producción, distribución y comercialización de todo lo relacionado al área como, por ejemplo, los radioisótopos (Peano y Pedrosa, 2017).

La dependencia tecnológica que tenían las burguesías locales de los países en vías de desarrollo con respecto a los capitales monopolísticos internacionales fue uno de los factores clave en las dificultades

4 Jorge Sábato (1924-1983) fue un físico argentino destacado en el campo de la metalurgia. En 1954 ingresó en la CNEA, dirigió el Departamento de Metalurgia hasta 1968 y en 1968 comenzó a desempeñarse como Gerente de Tecnología. Realizó grandes aportes al debate científico-tecnológico latinoamericano, especialmente, del área nuclear.

5 Celso Papadópulos fue un ingeniero argentino creador y director del Departamento de Radioisótopos en 1958. Fue el impulsor del Decreto N°845 del año 1958 que establecía que nadie puede poseer, importar, comprar, usar, vender o eliminar material radiactivo sin previo permiso de la CNEA.

para la consolidación de procesos de desarrollo autónomo (Cimillo, 1973). Como afirma Dvorkin (2017) los países latinoamericanos, considerados como capitalismo tardío, no centraron su desarrollo económico en tecnologías para la producción de bienes de consumo interno y bienes exportables, sino que se insertan como exportadores de productos primarios agropecuarios o mineros, de commodities industriales e importadores de bienes de consumo y de capital, reforzando la dependencia. Como consecuencia, salvo en pocos y cortos períodos de tiempo, los países de capitalismo tardío tienen balanzas comerciales, sobre todo industriales, deficitarias.

Los efectos de la dependencia tecnológica, en términos políticos, generan la pérdida de autonomía en la toma de decisiones, y en el plano económico, un condicionamiento para un desarrollo autosostenido, ya que afectan desfavorablemente a la balanza de pagos en un escenario caracterizado por el deterioro en los términos de intercambio (Halty, 1979). Además, la dependencia científico-tecnológico se convierte en un arma central de dominación durante el siglo XX, una especie de neocolonialismo (Sábato, 1971), ya que la introducción “ciega” de tecnología importada trae incorporada y transmite el sistema de valores de quien la diseñó, con lo cual la dependencia alcanza límites más vastos que los estrictamente económicos (Sábato, 2014).

La CNEA y la política nuclear

A partir de 1950, durante el primer gobierno de Juan Domingo Perón, comenzó a institucionalizarse la investigación científica y el desarrollo tecnológico alrededor del campo nuclear en Argentina, siendo la creación de la CNEA la materialización institucional de dicho proceso. La aparición de esta institución estuvo alineada con la idea de autonomía tecnológica que se venía pregonando en diversos espacios públicos y académicos.

Para comprender las razones por las cuales el desarrollo nuclear argentino estuvo concentrado desde un principio sobre una institución estatal como la CNEA se deben analizar las debilidades estructurales,

en Latinoamérica, con respecto a la física experimental⁶. La principal razón de dicha debilidad se vincula con el costo y la capacidad de gestión de grandes máquinas que, desde fines de la Segunda Guerra Mundial, son condición indispensable para el desarrollo de este campo científico-tecnológico a nivel mundial (Hurtado, 2012B). El hecho de que la propia institución maneje grandes presupuestos y sistemas administrativos y burocráticos complejos, es la razón principal para que exista la posibilidad de que se instaure y desarrolle la física experimental en un país semiperiférico como Argentina, además de tener la capacidad de adquirir equipamiento, como los aceleradores de partículas⁷, desde principios de la década de 1950.

Las formas que fueron tomando las acciones, iniciativas, discursos en un momento histórico determinado permiten visualizar e inferir la posición adoptada por el Estado y los diversos actores sociales participantes en torno a la cuestión nuclear. Este tipo de política pública debe ser entendida, tal como plantean Oszlak y O'Donnell (1995), como respuestas estatales a un conjunto de cuestiones socialmente problematizadas. En este caso la producción eléctrica, cuestión en la cual participaban una multiplicidad de actores que se enfrentaban e interactuaban haciendo prevalecer sus intereses y negociando en torno a ellos. La CNEA nació, entonces, con un objetivo central, vinculado directamente a esta cuestión problemática: utilizar la energía atómica para la producción eléctrica, pero atendiendo también a otros usos sociales, como la salud con la producción de radioisótopos⁸, y principalmente, la industria o la agricultura (Harriague, Quillici y Scaffoni, 2008).

6 Es una subdisciplina de la Física relacionada con la observación de fenómenos físicos, la recopilación de datos sobre los mismos y la experimentación y reproducibilidad de dichos fenómenos.

7 Dispositivo que utiliza campos electromagnéticos para acelerar partículas atómicas cargadas a alta velocidad y así hacerlas colisionar con otras partículas. Estos artefactos prestan un entorno controlado para el estudio de las partículas generadas, su proceso de desintegración y su aplicabilidad en la industria y la medicina principalmente.

8 Un isótopo es una variante de un elemento químico. Un radioisótopo (isótopo radiactivo) es un átomo con un núcleo inestable que tiende a estabilizarse emitiendo

Desde principios del siglo XX, los avances científicos y tecnológicos en el campo nuclear colocaron a este tipo de desarrollos en el centro del debate internacional, aún más luego de las explosiones de Hiroshima y Nagasaki. El control de la tecnología nuclear se había convertido en un tema sensible. En este sentido, como afirmaba Sábato (2014), es necesario incluir en el análisis de la tecnología el carácter no neutral de la misma, la necesidad de la persecución de la autonomía en dicho campo y en los riesgos de la importación de la misma sin previa fijación de criterios. El autor destacó que, en ausencia de dichas características en el plano de las políticas científico-tecnológicas, se corría el riesgo de la concentración económica y política por parte de los países exportadores de tecnología y la alienación social y cultural de los países importadores a través de la “reproducción” de los valores insertos en la tecnología misma y su producción. La ciencia y la técnica se empezaron a concebir entonces como un insumo básico en varios procesos: el desarrollo tecnológico vinculado a la defensa, la primacía de un nuevo modelo económico de base industrial y el nuevo rol del Estado como planificador e inversor (Feld, 2015).

En el Decreto de creación de la CNEA (Decreto PEN N° 10.936/50) se reconocía la capacidad de la energía atómica de reemplazar las formas corrientes de producción de energía, la potencialidad de generar cambios tecnológicos capaces de modificar la estructura productiva del país y de generar capacidades autónomas en relación al desarrollo científico-tecnológico. Las ideas de soberanía económica, autonomía tecnológica y diversificación de la matriz energética estaban presentes en el acta de nacimiento de la institución.

En términos históricos, el proyecto Huemul⁹ a cargo del físico austríaco Ronald Richter en dónde se buscaba la fusión controlada sentó las bases para la futura institucionalización de la física nuclear

radicación. Debido al desbalance entre neutrones y protones debe liberar energía para estabilizarse.

9 El Proyecto Huemul (1948-1952), radicado en una isla del lago Nahuel Huapi, provincia de Río Negro, tenía como objetivo el desarrollo de la fusión nuclear controlada, cuestión que no había sido lograda en el mundo. El proyecto estaba comandado por el físico austríaco Ronald Richter y había sido impulsado por el presidente Perón. En términos técnicos, el proyecto fracasó.

en torno a la CNEA, además de mostrarse al mundo como un país dispuesto a realizar inversiones de importancia en torno a la investigación atómica. La primera adquisición de maquinaria fue la compra en 1952, a la empresa holandesa Philips Works de Eindhoven, de un sincrociclotrón (instrumento de punta para la investigación en física nuclear) y un Cockroft-Walton (acelerador de partículas menos moderno, pero de fácil uso). La negociación se produjo luego de la visita del príncipe holandés Bernhard a Perón en 1951, y la posterior llegada a la Argentina de Cornelis Bakker, destacado físico nuclear y director del Netherlands Institute for Nuclear Research de Holanda. Cabe aclarar que en dicho país operaba, en ese entonces, el ciclotrón más grande de Europa.

En los primeros años de existencia, la CNEA se dedicó fuertemente a la formación de personal especializado, procurando la visita de especialistas en el área de nuclear desde el extranjero y enviando a estudiantes y profesionales a capacitarse en distintos países del mundo. Para algunos autores, el período 1950 a 1958 fue considerado “formativo”, ya que en esos primeros años se organizaron los primeros grupos de trabajo en investigación y desarrollo, se capacitó a parte del personal mediante sistemas de becas e intercambios a los principales centros de formación del exterior. También, comenzó la formación regular de físicos en Argentina en el Instituto Balseiro, se iniciaron las actividades relacionadas a la investigación y producción de radioisótopos y a la prospección uranífera. Para 1955 la CNEA ya contaba con alrededor de 250 científicos y más de 300 técnicos entre los grupos de investigación en física nuclear, aplicaciones médicas, geología, entre otros (Thomas, Versino y Lalouf, 2013).

En el año 1955 fueron publicados algunos artículos producidos desde el laboratorio del sincrociclotrón en la revista especializada *Zeitschrift fur Naturforschung*, la cual era coordinada por científicos de la Sociedad Kaiser Whilhem¹⁰ de Alemania. También fueron presentados los avances en la Primera Conferencia Internacional sobre

10 Creado en 1911, la Sociedad debía fundar, mantener y coordinar institutos de investigación independientes del Estado y debían estar a cargo de destacados directores como lo fueron Albert Einstein, Walter Bothe u Otto Hahn. Terminada la Segunda Guerra Mundial, la sociedad cambió su nombre a Instituto Max Planck.

los usos pacíficos de la energía atómica realizada en Ginebra; allí la delegación argentina presentó 37 trabajos que incluían la descripción de 13 nuevos radioisótopos descubiertos en el sincrociclotrón (Hurtado, 2012B). La construcción y puesta en funcionamiento del RA-1 culminó esta etapa (CARI, 1999).

Las declaraciones del presidente de la CNEA Iraolagoitia en la Conferencia de Ginebra de 1955 muestran los caminos que decidió tomar la institución en cuanto a la forma del desarrollo nuclear del país. En su discurso planteó que Argentina no podía planificar su desarrollo electronuclear sobre la base de combustibles enriquecidos, ya que no tenía en ese momento capacidad para realizar y tampoco se veía en el corto plazo. Por eso, culminaba planteando que “el programa primario de generación de energía nuclear se ha confeccionado sobre la base del uranio natural, obtenido de minerales argentinos e íntegramente elaborado, tratado y envasado dentro del país” (Iraolagoitia, 1955). La declaración permite pensar el sentido y la dirección que debían seguir los programas nucleares argentinos y los desarrollos científicos-tecnológicos.

El desarrollo de este espacio científico-tecnológico en Argentina a partir de la década del cincuenta fue interpretado por Diego Hurtado (2009, 2014) como un proceso de conformación de una cultura nuclear, es decir, una cultura organizacional, material, discursiva y simbólica a partir de la articulación política e institucional entre diversos actores como científicos, tecnólogos, funcionarios, empresarios, entre otros. Este proceso permitió configurar y estabilizar códigos de identidad, sistemas de creencias y modos de acción al interior de la propia institución, lo que le permitió a la CNEA mantener cierta identidad y accionar durante más de tres décadas. A su vez, la conformación de una cultura nuclear debe ser analizada teniendo en cuenta el sentido político asignado los proyectos y objetivos tecnológicos, a lo que el mismo autor denomina como régimen tecnopolítico (Hurtado, 2009, 2014).

RA-1: la materialización de un proyecto de desarrollo

Hacia 1957, el Estado argentino recibió una propuesta formal para la construcción de una central nuclear de potencia¹¹ en el país. La negativa a dicha propuesta se debió a que, de acuerdo a estudios realizados por la CNEA, la instalación de la misma no reunía las garantías ni ventajas exigibles en relación a los costos de instalación y generación, con respecto a la experiencia de operación de ese tipo de plantas y con la posible participación de científicos, tecnólogos e industrias nacionales (Alegría, 1964). Las capacidades y conocimientos acumulados por la institución y cada uno de sus integrantes hasta el momento permitieron tomar esta decisión y planificar el programa nuclear de acuerdo a las características y necesidades del país en materia tecnológica, científica, económica y de infraestructura. Para 1964, la misma institución, consideró viable elaborar un plan para la instalación de una central de potencia.

La pregunta que surge es, ¿por qué reactores de investigación? ¿Qué relación tenían con el programa eléctrico impulsado desde la implementación de la ISI? ¿Cómo la construcción de reactores de investigación podía ayudar en el proyecto de industrialización del país?

En la construcción del RA-1 participaron más de 30 empresas nacionales, sobre todo en la obra civil (Hurtado, 2012A). Este reactor pondría a prueba la integración productiva que proponía la CNEA y el impulso para la vinculación entre los sectores científico, tecnológico e industrial, base fundamental para la consecución del objetivo de la autonomía tecnológica. El conocimiento de la CNEA respecto de las condiciones reales de la industria local, permitió el desarrollo de proveedores locales para las obras nucleares programadas en dicho momento (Sábato, 2014).

Instalado en el Centro Atómico Constituyentes (provincia de Buenos Aires), el RA-1 fue el primer reactor en ponerse en marcha en toda América Latina. Su construcción fue en tiempo récord, ya

11 Los reactores nucleares de potencia producen energía iniciando y controlando una reacción nuclear en cadena sostenida.

que tardaron sólo 9 meses. Alcanzó criticidad¹² el 17 de enero de 1958 y fue inaugurado tres días después. El reactor y los elementos combustibles fueron desarrollos locales y se basaron en un modelo estadounidense, el Argonaut, instalado unos meses atrás en el Argonne National Laboratory de Chicago. Solo el uranio enriquecido¹³, el grafito de calidad nuclear y algunos componentes electrónicos fueron importados.

En el discurso de inauguración del reactor, Oscar Quihillat (presidente de la CNEA desde 1955), planteaba que el RA-1 era un modesto reactor en cuanto a su significado tecnológico, pero era el primer paso, en térmicos técnicos y materiales, hacia los reactores de potencia, siendo éstos uno de los desarrollos que podían mejorar el déficit en materia energética (CNEA, 1958).

El RA-1 fue pionero en la producción de radioisótopos para uso medicinal e industrial, además de su uso para la investigación y experimentación. A fines de 1958 fue vendido a la empresa alemana Degusa-Leybold AG el know-how adquirido en los procesos de fabricación de los elementos combustibles, elaborados por el Departamento de Metalurgia de la CNEA, siendo esta la primera transferencia comercial de tecnología nuclear del país (CARI, 1999). La CNEA entregó un informe completo del proceso de fabricación a cambio de 14.000 dólares.

El desarrollo de este reactor evidencia la intención de la CNEA de integrar los complejos científico, tecnológico e industrial en búsqueda de la autonomía tecnológica y la soberanía económica (Lugones, 2020). De acuerdo a ello, la CNEA consolidó una línea de diseño y construcción de reactores de investigación a través de la incorporación de empresas locales en tanto proveedoras (Hurtado, 2012A).

La puesta en marcha del RA-1 constituyó materialmente la acumulación de capacidades y conocimientos. Por un lado, permitió la conformación de cuadros de científicos y técnicos en el área nuclear. Por otro lado, permitió proseguir en la decisión de lograr la auto-

12 La criticidad es la reacción nuclear en cadena, autosostenida y controlada para mantener las condiciones de seguridad. El término refiere a la condición de funcionamiento normal de un reactor.

13 Estados Unidos fue proveedor del mismo como parte del tratado de cooperación bilateral firmado en 1955 dentro del programa “Átomos por la paz”.

nomía científico-tecnológica en este sector (Marzorati, 2006). Además, la estrategia de desarrollo científico-tecnológico que impulsó la CNEA fue, o tenía la intención, según Lugones (2020), de convertirse en un vehículo para impulsar objetivos como la independencia económica y la autodeterminación política. El desarrollo nuclear se convirtió así en una “matriz de producción de sentidos”, que desbordaba el ámbito específico de la CNEA.

Teniendo en cuenta lo expuesto, la siguiente pregunta es central: ¿para qué diseñar y construir reactores nucleares de investigación en el país?

El desarrollo, construcción y funcionamiento del RA-1 puede ser explicado por una heterogeneidad de elementos: políticas públicas, capacidades tecno-productivas, génesis y desarrollo de instituciones, desarrollo de polos industriales sectoriales, necesidades energéticas situados en determinado espacio socio-histórico.

Considerando que uno de los objetivos centrales del programa nuclear era la construcción y puesta en marcha de centrales de potencia para la generación de electricidad, se puede pensar que estos dos reactores de investigación “funcionaron”. En primer lugar, permitieron la consolidación de la CNEA como institución destinada a la investigación y desarrollo tecnológico dentro del área nuclear. En segundo lugar, ambos proyectos priorizaron la integración de proveedores locales lo que generó la expansión y diversificación del entramado industrial en torno a lo nuclear y otras áreas afines, profundizando, en alguna medida, el modelo industrialista vigente desde mediados del cuarenta. Los relevamientos de proveedores realizados fueron un insumo importante para la toma de decisión con respecto a la central de potencia Atucha I. En tercer lugar, se generaron los conocimientos, capacidades y competencias para negociar, diseñar o construir tecnología nuclear. Por último, siguiendo el interrogante planteado por Briozzo (2007) se puede sostener que este tipo de proyectos de alto nivel científico y tecnológico, evita la fuga de cerebros, característica que se reitera en el tiempo en muchos de los países que integran la periferia.

Consideraciones finales: autonomía tecnológica y acumulación de capacidades

El concepto de “estilo tecnológico”, planteado por Oscar Varsavsky (2013 [1974]), nos permite pensar la tecnología dentro de una realidad específica, variable. El estilo tecnológico es la forma particular que cada sociedad histórica asume en su proceso de conocimiento, de la relación entre la ciencia y la técnica. Manifiesta, en definitiva, que el desarrollo tecnológico existe, se proyecta y se intenta implementar en función del proyecto nacional en cada país. A partir de esta idea podemos pensar la forma en la que la CNEA se desarrolló su trayectoria científico-tecnológica. La decisión de construir un reactor de investigación a fines de la década de 1950 cuando el objetivo es la producción nucleoelectrónica nos muestra una particular forma de concebir la producción de tecnología en forma autónoma y sostenida.

El diseño, construcción, mantenimiento y exportación de reactores nucleares de investigación representa un caso particular dentro de los desarrollos tecnológicos de la Argentina. Alrededor de esta línea de investigación, la CNEA ha consolidado, hasta el día de hoy, una metodología incremental de adquisición de capacidades científicas, tecnológicas y organizacionales, de construcción de vínculos en el campo de la cooperación internacional y de una red de proveedores locales (Briozzo, 2007).

La decisión de diseñar y construir reactores de investigación desde mediados del siglo XX, en lugar de adquirirlos “llave en mano” se sostuvo sobre tres principios: 1- construir capacidad autónoma en la toma de decisiones, es decir, en palabras de Sábato, conseguir la autonomía tecnológica; 2- impulsar y consolidar una infraestructura científico-tecnológica para el uso social óptimo de la energía nuclear; y 3- demostrar que la investigación y el desarrollo en ciencia y tecnología era posible y útil en el país, y que podía llevarse adelante a pesar de las crisis y problemáticas socio-económicas y políticas.

Al considerar que la construcción y puesta en marcha de centrales de potencia para la generación de electricidad era uno de los objetivos centrales del programa nuclear, es posible afirmar que el RA-1 ‘funcionó’: en términos de la consolidación de la CNEA como la institución dedicada a la investigación y desarrollo tecnológico dentro

del área nuclear; del desarrollo de proveedores locales en torno a lo nuclear y áreas afines -y por ende del entramado industrial local; y de la generación de conocimientos, capacidades y competencias para negociar, diseñar o construir tecnología nuclear. Además, como proyecto de alto nivel científico y tecnológico, evitó la ‘fuga de cerebros’, característica que se reitera en el tiempo en muchos de los países que integran la periferia.

Agradecimientos

Este artículo se realizó en el marco del 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”. Programa del IESCT-UNQ, Programa de Estudios Interdisciplinarios (PROESI) de la Universidad Nacional de Luján y Beca Doctoral CIC-BA.

Bibliografía

- ALEGRÍA, J. et al. (1964). “La contribución de la energía nuclear a la solución del problema energético argentino”. Informe N°115 CNEA. Presentado en Tercera Conferencia Internacional para usos pacíficos de la Energía Nuclear. Buenos Aires: UNQ-FLACSO-IDEP.
- ARCEO, E. (2003). *Argentina en la periferia próspera. Renta internacional, dominación oligárquica y modo de acumulación*, Buenos Aires.
- BELINI, C. y Rougier, M. (2008). *El Estado Empresario en la industria argentina. Conformación y crisis*. Buenos Aires: Manantial.
- BIJKER, W. (1995). *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs*, Cambridge y Londres, The MIT Press.
- BRIOZZO, F. et al. (2007). “A cuarenta años de la inauguración del RA-3: anécdotas, historias y algunas enseñanzas”. *Revista CNEA*, Año 7, N°27-28, Buenos Aires.
- BRIOZZO, F. (2010). “Medicina Nuclear en Argentina. Abastecimiento De radioisótopos, de la importación a la producción nacional (1950-1971)”. En Vessuri, H.; P. Kreimer, A. Arellano, & L. Sanz Menéndez (Ed.), *Conocer para transformar. Producción y reflexión sobre Ciencia*,

- Tecnología e Innovación en Iberoamérica* (págs. 55-79). Caracas: UNESCO-IESALC.
- BUSH, V. (1999). “Ciencia, la frontera sin fin. Un informe al presidente, julio de 1945”. Revista REDES, N°14, Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, pp. 83-137
- CARI (Consejo Argentino para las Relaciones Internacionales). (1999). *La Argentina exportadora de tecnología nuclear*. Buenos Aires.
- CASTRO DÍAS-BALART, F. (1991). *Energía nuclear y desarrollo. Realidades y desafíos en los umbrales del siglo XXI*, Colección Yachay Huasi. Buenos Aires: Ediciones Colihue.
- CIMILLO, E., et al. (1973). *Acumulación y centralización del capital en la industria argentina*. Buenos Aires: Tiempo contemporáneo.
- DIAMAND, M. (1976). “Las posibilidades de una técnica nacional en Latinoamérica (el caso argentino)”. Estudios Internacionales, 9 (34): 10-41, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- DVORKIN, E. (2017). *¿Qué ciencia quiere el país?: los estilos tecnológicos y los proyectos nacionales*. Buenos Aires: Colihue.
- FELD, A. (2015). *Ciencia y política(s) en la Argentina, 1943-1983*. Bernal: UNQ Ediciones.
- FERRER, A. (1976). “La dependencia científica y tecnológica en el contexto internacional y sus implicaciones para la transferencia de tecnología”. Desarrollo económico, 15 (60): 565-580, Buenos Aires.
- HALTY, M. (1979). “Estrategias tecnológicas para países en desarrollo”. Revista Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Bogotá.
- HARRIAGUE, S.; Quilici, D. y Sbaffoni, M. (2008). “Estilos socio-técnicos en el sector nuclear argentino. Crisis y sustentabilidad”. XXI Jornadas de Historia Económica 23-26, Universidad Nacional Tres de Febrero, Buenos Aires.
- HURTADO, D. (2009). “Periferia y fronteras tecnológicas. Energía nuclear y dictadura militar en la Argentina (1976-1983)”. Revista CTS, 5 (13): 27-64, Buenos Aires.
- HURTADO, D. (2012a). “Cultura tecnológico-política sectorial en contexto semiperiférico: el desarrollo nuclear en la Argentina (1945-1994)”. Revista CTS, 7 (21): 163-192, Buenos Aires.
- HURTADO, D. (2012b). “La física y los físicos argentinos. Historias para el presente”. Universidad Nacional de Córdoba – Asociación Física Argentina, Córdoba.
- HURTADO, D. (2013). “La construcción de la Argentina como país proliferador”. Revista Voces en el Fénix, Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas, p.116-125 Buenos Aires.

- HURTADO, D. (2014). *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología nuclear y desarrollo nacional (1945-2006)*. Buenos Aires: Edhasa.
- IRAOLAGOITIA, P. (1955). Papel de la energía atómica en la República Argentina, Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Nuclear con Fines Pacíficos, 7 de julio, Ginebra.
- MARZORATI, Z. (2006). “Un desarrollo científico-tecnológico autónomo: la construcción del RA-1”. *Cuadernos de Antropología Social*, 23: 105-116, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- LUGONES, J.M. (2020). Política nuclear y política energética en la Argentina. El Programa Nucleoeléctrico de la CNEA (1965-1985). Tesis de Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Universidad Nacional de Quilmes, Bernal.
- OZSLAK, O. y O'Donnell, G. (1995). “Estado y políticas estatales en América Latina: hacia una estrategia de investigación”. *REDES*, 2(4): 99-128. Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires.
- PAVITT, K. (1984). Sectoral patterns of Technological change: towards a taxonomy and a theory, *Research Policy*, 13, pp.343-373
- PEANO, M. y Pedrosa, J. (2017). “Medicina nuclear en la Argentina: el papel de la Comisión Nacional de Energía Atómica en su desarrollo (1950-1982)”. *Revista de Historia de la Medicina y Epistemología Médica*, Vol. IX (1), Instituto de Historia de la Medicina, UBA, Buenos Aires.
- QUILICI, D. (2008). “Desarrollo de proveedores para la industria nuclear argentina. Visión desde las Centrales Nucleares”. *H-Industria*, 2 (2), Buenos Aires.
- RODRIGUEZ, M. (2020). *Estado, industria y desarrollo. Atucha II y la senda del Programa Nuclear Argentino (1979-2014)*. Rosario: Prohistoria ediciones.
- SÁBATO, J. y Botana, N. (1968). “La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina”. *Revista de la Integración, INTAL*, 1 (3): 15-36, Buenos Aires.
- SÁBATO, J. (1971). *Ciencia, tecnología, desarrollo y dependencia*, Serie Mensaje. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- SÁBATO, J. (2014). Harriague, S. y Quillici, D. (Ed.). *Estado, política y gestión de la tecnología. Obras escogidas (1962-1983)*. Buenos Aires: UNSAM Editorial.
- SCHORR, M. y Wainer, A. (2017), Modelo de acumulación. Una aproximación conceptual, en *Unidad Sociológica*, N° 10.
- THOMAS, H. (2008). “Estructuras cerradas versus procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico”. En: Thomas, H. y A. Buch (Comp.) *Actos, actores y artefactos*. Bernal: Editorial UNQ.

- THOMAS, H., Versino, M. y Lalouf, A. (2013). “INVAP: una empresa nuclear y satelital argentina” en Thomas, H., Santos, G. y Fressoli, M. *Innovar en Argentina. Seis trayectorias empresariales basadas en estrategias intensivas en conocimiento*. Carapachay: Lenguaje Claro Editora.
- VARSAVKY, O. (2013 [1974]). “Estilos tecnológicos. Propuestas para la selección de tecnologías bajo racionalidad socialista”. Biblioteca Nacional, Buenos Aires.
- VERA, N. (2019). “Ciencia, tecnología y política internacional: la guerra por otros medios”. Jornada: “A cien años del inicio de las Relaciones Internacionales como Disciplina Académica”, Facultad de Ciencias Humanas. Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Fuentes consultadas

- 2° Plan Quinquenal. (1953). Subsecretaría de Informaciones, Presidencia de la Nación. Buenos Aires.
- CNEA. (1958). Boletín Informativo, año 2, N°2, Buenos Aires, Argentina.
- Decreto PEN N° 22.855/45. Infoleg. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires, Argentina.

Coordinador: Facundo Picabea

**TECNOLOGÍAS CONOCIMIENTO INTENSIVAS
EN ARGENTINA**

Experiencias locales de investigación y desarrollo

ISBN 978-631-00-3417-1



9 786310 034171