

América Latina frente a los desafíos socio-territoriales y tecno-económicos del siglo XXI

Compiladores

Gonzalo Sanz Cerbino

Luciana Guido

Sanz Cerbino, Gonzalo

América Latina frente a los desafíos socio-territoriales y tecno-económicos del siglo XXI / Gonzalo Sanz Cerbino ; Luciana Guido ; Compilación de Gonzalo Sanz Cerbino ; Luciana Guido. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : CEUR - Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 2025.

128 p. ; 20 x 14 cm.

ISBN 978-950-9370-35-7

1. Ciencias Sociales. 2. Desarrollo Económico. 3. Tecnología. I. Guido, Luciana II. Sanz Cerbino, Gonzalo, comp. III. Guido, Luciana, comp. IV. Título.

CDD 300

Hecho el depósito que marca la Ley 11.723. Libro de edición argentina.



América Latina frente a los desafíos socio-territoriales y tecno-económicos del siglo XXI de Gonzalo Sanz Cerbino y Luciana Guido tiene una licencia Creative Commons Reconocimiento NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Índice

Unas jornadas a contramano de su época

Gonzalo Sanz Cerbino y Luciana Guido7

Capítulo 1

“Me dieron un papel de mi casa”

Aproximaciones a las tenencias intermedias en Argentina

Emilia Mosso19

Capítulo 2

¿Un territorio transnacional de la conservación neoliberal en América del Sur?

*Brenda Ponzi, Verónica Pohl Schnake, Lorena Coppiarolo,
Magdalena Chouhy y Lucía Bergós*31

Capítulo 3

Trayectorias de *upgrading* en la industria agrobiotecnológica argentina

Pablo Wahren y Sebastián Sztulwark43

Capítulo 4

Luces y sombras en el desarrollo reciente de la industria nuclear argentina (2006-2023)

Manuel Lugones55

Capítulo 5

Brechas tecnológicas entre Argentina y Estados Unidos: el caso de la Agricultura de Precisión

Martín Guaglianone67

Capítulo 6
Expansión versus regulación urbana:
El corredor norte del Área Metropolitana Rosario
Cintia Ariana Barenboim85

Capítulo 7
Tipos corporativos *fintech*:
adictivamente asimétricos y flexibles
Violeta Amuchástegui99

Capítulo 8
La ruta de las frutillas. Estrategias y sentidos en la trama
productiva de General Rodríguez (PBA)
Sara Agüero, Gerardo Castro y María Florencia Marcos.....117

Capítulo 4

Luces y sombras en el desarrollo reciente de la industria nuclear argentina (2006-2023)

Manuel Lugones

Instituto de Estudios en Ciencia, Tecnología, Cultura y Desarrollo (CITECDE),
Universidad Nacional de Río Negro (UNRN);
mlugones@unrn.edu.ar

1. Introducción

En 2006 era anunciada la decisión de: (i) finalizar la construcción de la central nuclear de Atucha II (CNA-II), (ii) extender la vida útil de la central nuclear de Embalse (CNE) y (iii) construir el prototipo de la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM). Planteándose como objetivo general retomar el plan nuclear abandonado en los primeros años de la década de 1990.

Este relanzamiento del programa nuclear argentino, se produce en el marco de un proceso de revalorización de la industria nuclear a nivel mundial sobre la base del desarrollo de nuevas tecnologías orientadas a: (i) reducir los costos de inversión y operación, (ii) mejorar la eficiencia de generación, (iii) disminuir volumen de desechos y (iv) complementar el uso de la energía nuclear con fuentes de generación renovables. De esta forma, desde la industria nuclear se buscó incorporar a la nucleoelectricidad dentro de la agenda verde al destacarse que la misma es una fuente de energía no contaminante, que puede emplearse en coordinación con fuentes de energía renovables a través de la conformación de sistemas de generación híbridos, y que a su vez puede emplearse en la producción de hidrógeno, desalinización de agua y la descarbonización de actividades industriales. Bajo este marco, se inició una carrera para introducir al mercado pequeños y medianos reactores modulares (SMR por sus siglas en inglés), como también los denominados reactores de IV generación.

Entre los países que se encuentran inmersos en la carrera por desarrollar e introducir al mercado un reactor SMR se destacan: EE.UU., China, Rusia, Reino Unido y Argentina. Carrera que no es solo de carácter comercial, sino también geopolítica, en el sentido de que las principales potencias están disputando el dominio global de recursos estratégicos, tecnologías críticas y mercados, escenario que

Merke (2022) ha caracterizado como un “guerra fría verde”. En este sentido, el proceso de transición energética es caracterizado por la emergencia de nuevas formas de dependencia y competencia. Esto plantea para países como la Argentina, nuevos desafíos para impulsar la autonomía tecnológica y energética.

En este trabajo nos proponemos aportar evidencia para analizar cuáles son los desafíos que enfrentan los países de menor desarrollo relativo para generar capacidades tecno-productivas encaminadas a lograr la autonomía tecnológica y energética. En función de este objetivo, se analiza para el caso de la tecnología nuclear cuáles ha sido las elecciones tecnológicas realizadas e identificar qué particularidades tuvo la estrategia de desarrollo adoptada por Argentina a partir de 2006 con respecto a la trayectoria de la industria nuclear a nivel mundial.

2. La industria nuclear a comienzos del siglo XXI

En la década de 1980, la desaceleración de la economía mundial y el creciente rechazo social a la energía nuclear, derivó en un brusco freno de la industria en occidente, obligando a impulsar modificaciones tendientes a mejorar la competitividad económica y la seguridad de las centrales nucleares (Char y Csik, 1987), lo que implicó introducir mejoras de diseño para incrementar la eficiencia de generación, extender la vida útil a 60 años e incorporar nuevos sistemas de seguridad. Lo que resultó en el desarrollo de los reactores de III generación (Zappino, 2023). Éstos comenzaron a ser comercializados a comienzos del siglo XXI, principalmente en el sudeste asiático, China, India y Corea del Sur, que se constituyó a partir de la década de 1990 en el principal centro de expansión de la nucleoelectricidad motorizado por el ritmo acelerado de crecimiento económico y el déficit para satisfacer la demanda de energía (ver cuadro N 1). Por lo tanto, se produjo un desplazamiento desde occidente al sudeste asiático, lo que a su vez significó la consolidación de nuevos actores que están disputando el liderazgo del mercado mundial de reactores de potencia.

Cuadro 1: Cantidad de reactores nucleares, según estado, en los 6 principales países productores de energía por vía nuclear (2024)

País	Operación		Construcción		Cerrados	
	Cantidad	%*	Cantidad	%*	Cantidad	%*
EE.UU.	94	23%	0	0%	41	19%
China	57	14%	28	45%	0	0%

País	Operación		Construcción		Cerrados	
	Cantidad	%*	Cantidad	%*	Cantidad	%*
Francia	57	14%	0	0%	14	7%
Rusia	36	9%	4	6%	11	5%
Corea del Sur	26	6%	2	3%	2	1%
India	20	5%	7	11%	0	0%

Fuente: elaboración propia en base a información de la IAEA y la CNEA (2024).

En paralelo al proceso de difusión de los reactores de III generación, se comenzó a impulsar el diseño de nuevos conceptos de reactores que pueden combinarse entre sí:

- Los SMR cuyo diseño se orienta a abaratar costos operacionales (incluido el manejo de menores volúmenes de desechos), acortar los plazos de construcción y reducir las barreras financieras derivadas de los altos costos de capital de las unidades más grandes. Por su tamaño estos podrían emplazarse en lugares en los que no es rentable instalar una central nuclear convencional. Finalmente, gozarían de una flexibilidad operacional que posibilitaría ajustar la producción a la demanda de electricidad, combinándose con las energías renovables para compensar sus intermitencias;¹
- Los reactores rápidos que funcionan con un ciclo de combustible cerrado, posibilitando reducir la cantidad y actividad de los desechos que deberán gestionarse, así como extender las reservas de uranio.
- Y los reactores de IV generación de altas temperaturas (HTGR), que utilizan nuevos refrigerantes (gases, metales fundidos o sales fundidas) y combustibles alternativos al uranio enriquecido, permitiendo mejorar la eficiencia térmica, disminuir la cantidad de desechos y extendiendo su vida útil a seis décadas, reduciendo los costos de inversión. Además, ofrecen como ventaja adicional la generación de calor útil que puede emplearse en diferentes procesos industriales.²

1 En 2019 se conectó a la red el primer SMR de diseño PWR (la central flotante Akademik Lomonosov de Rosatom con dos unidades de 35Mw). Esta central tiene la capacidad de generar energía para una ciudad de 100 000 habitantes y es utilizada también para la desalinización de agua de mar para la obtención de 240 mil metros cúbicos de agua potable por día.

2 Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas funcionan a temperaturas de hasta 950 grados Celsius, lo que los hace entre un 20 y un 33% más eficientes térmicamente que los reactores refrigerados por agua. En los reactores de sales fundidas, tanto el combustible como el refrigerante son líquidos, de modo que las fisiones del núcleo, en el sentido tradicional, son imposibles. Y los reactores refrigerados por sodio líquido tienen

Es posible observar dos tendencias según el tipo de innovación perseguida: (i) trasladar a una escala menor los reactores de uranio enriquecido y agua ligera, en su versión de recipiente a presión (PWR) o de tubos a presión (BWR). En este caso, la innovación radica en la búsqueda de una reducción de los costos y en un aumento en el grado de seguridad. Y (ii) modificar la física de los reactores (como los refrigerados por gas a alta temperatura, los de espectro neutrónico rápido y los que utilizan sales fundidas) con el objetivo de obtener mayor energía, reducir la cantidad y duración de los residuos radiactivos y obtener calor útil pasible de ser utilizado para otras actividades (IAEA, 2020).

Estos desarrollos son impulsados por un conjunto de empresas emergentes, tales los casos de TerraPower, NuScale Power y U-Battery, entre otras, que compiten con grandes compañías u organismos con una larga trayectoria en la industria como la Corporación Nuclear Nacional China (CNNC), el grupo Areva (conformado a partir del proceso de fusión y adquisición entre diferentes compañías europeas), el grupo coreano Kepco y el grupo estatal Rosatom de Rusia.³ Dichos desarrollos son impulsados por diferentes Estados nacionales, como los EE.UU. y China, así como a través de iniciativas multinacionales como el GEN IV International Forum,⁴ apoyando con importantes esfuerzos financieros, en el marco de la jerarquización de las políticas de transición energética y la inestabilidad del precio

una característica de seguridad incorporada: si se calientan, el sodio líquido se expande y permite que escapen más neutrones a través de los espacios entre los átomos, por lo que la reacción se detiene naturalmente.

3 La CNNC se constituyó en 1988 como resultado de la reorganización del Ministerio de Industria Nuclear –encargado hasta ese momento del desarrollo del programa nuclear tanto civil como militar– para facilitar la obtención de fondos externos a través de exportaciones, siendo la única empresa de China que ha logrado exportar tecnología nuclear a otros mercados. Por otro lado, fue la primera empresa de ese país en lograr un diseño propio de reactor (el CNP-300 de II generación) (Vara y Salazar, 2017).

El grupo Kepco nació en 1898 como la Compañía Eléctrica Hansung. En 1982 se constituyó en la Corporación de Energía Eléctrica de Corea. En 1978 finalizó la construcción de su primera central nuclear (Gori 1), logrando en 1995 su primer contrato en el sector nuclear fuera de Corea al ganar la licitación para operar la Central Nuclear de Malaya (Filipinas).

El grupo Rosatom es un consorcio de empresas estatales rusas constituido en 2007 que abarca diferentes actividades en el campo nuclear: diseño y construcción de reactores, producción de radioisótopos para medicina y producción de combustible nuclear, entre otras áreas de negocios. El grupo ha exportado su modelo de reactor de agua presión y uranio enriquecido de III generación denominado VVER a diferentes países como: Turquía, Bielorrusia, Irán, India, Bangladesh, China y Eslovaquia.

4 En el GEN IV International Forum impulsado por los EE.UU., participan Argentina, Australia, Brasil, Canadá, China, Francia, Japón, Corea del Sur, Rusia, Sudáfrica, Suiza, Reino Unido y Euratom (que representa a 27 países miembros de la Unión Europea). A través de éste, se propuso el desarrollo de diferentes tipo de tecnología, comprometiéndose los países participantes a producir al menos una: el reactor rápido refrigerado por plomo, el reactor de sal fundida, el reactor rápido refrigerado por sodio, el reactor refrigerado por agua supercrítica y el reactor de muy alta temperatura.

internacional de los combustibles fósiles. Por su parte, el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés) está impulsando una plataforma para asistir en la difusión de los SMR.⁵

Finalmente, en los últimos años desde la industria nuclear se está realizando un significativo esfuerzo por incluir dentro de la agenda verde a la nucleoelectricidad como una opción técnica y económicamente viable para impulsar el proceso de transición energética. Así por ejemplo, en la Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático y el Papel de la Energía Nuclear de 2019, se definió a la energía nuclear como una fuente no emisora, por lo que incrementar su utilización puede contribuir a mitigar los efectos del cambio climático y disminuir la dependencia sobre los combustibles fósiles (IAEA, 2022; Zappino, 2023).

3. El relanzamiento del plan nuclear Argentino

En 2006 la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Ministerio de Planificación e Inversión Federal (MINPLAN) se anunció el relanzamiento del plan nuclear motivado por un escenario de restricción en la oferta de energía y de impulso a un conjunto de políticas orientadas a promover el desarrollo de capacidades tecno-productivas, contexto en el cual el Estado asumió el rol de productor y usuario en torno a un conjunto de grandes proyectos que buscaban aprovechar las capacidades tecnológicas y productivas acumuladas (Lavarello y Sarabia, 2015; Rodríguez, 2020). En este marco, se decidió: (i) finalizar la construcción de CNA-II (entró en operación comercial en 2015); (ii) extender la vida útil por 30 años de la CNE (en 2019 obtuvo la licencia para reiniciar la operación comercial para su segundo ciclo de vida) y (iii) construir el prototipo del reactor CAREM.

El proyecto CAREM, que se remonta a 1987, se proyectó como un reactor de mediana potencia que podía ser configurado como un reactor de agua presurizada del tipo PWR o del tipo BWR, pudiendo utilizar diferentes tipos de combustibles.⁶ Se lo concibió como una alternativa orientada hacia países de menor desarrollo relativo por sus menores costos financieros y su mayor adaptabilidad a redes de

5 Según estimaciones de IAEA el mercado potencial a futuro para los SMR asciende a los 300.000 millones de dólares, registrándose un creciente interés por este tipo de reactores de países en vías de desarrollo que no pueden financiar los 10.000 o 12.000 millones de dólares de inversión que requieren las grandes centrales nucleares de 1.000 a 1.200 Mw (Zappino, 2023). No obstante, la industria nuclear a nivel global enfrenta los siguientes retos: (i) el rechazo social a la industria nuclear por los cuestionamientos a las condiciones de seguridad y del tratamiento de los desechos nucleares. (ii) Y que no se ha logrado probar aun que los SMR sean económicamente competitivos frente a otras alternativas tecnológicas disponibles.

6 El estudio de ingeniería conceptual y básica fue denominado Proyecto ARGOS PHWR 380.

distribución con capacidades limitadas para absorber energía adicional. Y por otro lado, permitirá promover la participación de la industria local al demandar la fabricación en serie de equipos más pequeños (González, et al., 1987; Zappino, 2023).

En 2006 el CAREM fue declarado de interés nacional, iniciándose en 2014 la construcción del prototipo para validar el diseño y avanzar en el diseño conceptual del “CAREM Comercial” o CAREM-480. El cual según las estimaciones realizadas a valores a junio de 2020, establecían un costo promedio de generación competitivo, tanto a nivel nacional como internacional, de 68,2 dólares por Mwh (CNEA, 2021), concluyéndose que era una alternativa económica y técnicamente viable. Sin embargo, a fines de 2023, con el anuncio de la suspensión de las inversiones en obras públicas, resultó en la paralización del proyecto, que se encontraba avanzado en un 80% (Delmastro et al., 2017; Zappino, 2023).

En este marco de reactivación del plan nuclear, en 2010 se iniciaron negociaciones con China para comprar por un monto cercano a los 14.5 mil millones de dólares dos reactores: uno del tipo CANDU y el otro un HPR-1000 (reactor de III generación de uranio enriquecido y agua liviana), firmándose en 2014 los memorandos de entendimiento. Sin embargo, desde finales de 2015 dicho acuerdo fue objeto de múltiples cuestionamientos. Así por ejemplo, se criticó la compra del reactor CANDU por requerir modificaciones para satisfacer los normas de seguridad pos-Fukushima, lo que resultaría en un incremento de 800 a 1000 millones sobre el costo original, dando lugar a la suspensión del mismo.⁷ Sin embargo, en 2019 se retomaron las negociaciones al manifestarse el interés por adquirir el HPR, aunque sin una fecha prevista para su concreción dada la situación económica del país (Caro, 2023).

Las marchas y contramarchas registradas entre 2016 y 2019 fueron el resultado de cómo el gobierno nacional respondió a las presiones ejercidas por China y EE.UU. Por un lado, la suspensión del acuerdo estuvo asociado a la estrategia de hostigamiento diplomático ejercida por EE.UU. con el objeto de evitar el avance de China en la región, revertir el deterioro de su entramado productivo-nuclear y aumentar su incidencia en la configuración global de la industria nuclear bloqueando el desarrollo de tecnologías que pudieran disputar su espacio en los mercados internacionales (Blinder y Vila Seoane, 2023; Cúneo, 2024). Y por el otro, la reanudación de las negociaciones

7 Pese a desestimarse la compra del reactor tipo CANDU, esto no implicó abandonar la meta de incorporar nuevos reactores de este tipo, para lo cual se creó un grupo de trabajo para avanzar en el diseño de la ingeniería aprovechando la experiencia acumulada en el proceso de extensión de la vida útil de la CNE y en la colaboración realizada –en 2009– con la empresa de Energía Atómica de Canadá en el desarrollo del CANDU-6 y el CANDU avanzado ACR-1000 (CNEA, 2021).

por el HPR se produjo después de que China anunció que reduciría sus importaciones de soja y aceite de soja argentino, con el consecuencia impacto sobre una economía que estaba atravesando un escenario de restricción externa (Haro Sly, 2019).

En 2022 se produjo un nuevo anuncio de un acuerdo para la compra del reactor HPR-1000 por 8.300 millones de dólares. El cual también fue objeto de críticas. A nivel externo, funcionarios norteamericanos realizaron declaraciones en diferentes medios de comunicación alertando sobre la falta de seguridad de estos reactores (Blinder y Vila Seoane, 2023). Y a nivel interno, desde distintos sectores se indicó que el costo de la energía sería entre un 40 y 50% más alto que el de reactores similares ofrecidos por otros fabricantes (el AP-1000 de Westinghouse o el EPR de Areva) (Caro, 2023).

Y por otro lado, desde el Ministerio de Economía, se manifestó la necesidad de elevar el porcentaje de financiamiento del 85 al 100% atendiendo al escenario de restricción externa de la economía. A esto se sumaron las objeciones al carácter de llave en mano del proyecto, por lo que no estaba garantizada la apertura del paquete tecnológico, y por lo tanto, que efectivamente Argentina pudiera acceder a la tecnológica para la producción nacional de los combustibles nucleares. Este cuestionamiento cobró fuerza al darse a conocer las condiciones fijadas para el financiamiento de la central por parte del Banco Industrial y de Comercio de China (ICBC por sus siglas en inglés).

4. Estrategia tecnológica adoptada por Argentina

La estrategia desplegada a partir de 2006, junto con las elecciones tecnológicas realizadas, se fue definiendo sobre la marcha según fue evolucionando el contexto político-institucional, económico y geopolítico.

La finalización de la CNA-II y la extensión de la vida útil de la CNE, supuso replicar una estrategia similar a la implementada a nivel mundial: ampliar el uso de las centrales existentes como una forma de amortizar las inversiones realizadas incorporando mejoras en los sistemas de seguridad, operación y mantenimiento. Sin embargo, para Argentina significaba además sostener un mercado para las empresas del sector creadas para abastecer un parque nucleoelectrico basado en reactores de uranio natural y agua pesada. En este sentido, para algunos sectores dentro de la CNEA avanzar sobre la compra de una central CANDU implicaba retomar el objetivo del Plan Nuclear de 1974 de constituir al país en exportador de componentes para este tipo de centrales.

La adquisición del HPR-1000 respondió al objetivo de conformar una asociación estratégica con China que abarcaba un swap

de monedas, la construcción de dos centrales hidroeléctricas y la instalación de una base de observación espacial en la región patagónica (Haro Sly, 2019; Caro, 2023); así como por el interés de dicho país de expandir su influencia en la región e incrementar su participación en el mercado nuclear. La potencial incorporación de la línea tecnológica de reactores de uranio enriquecido impuso como necesidad: reactivar la producción de concentrado de uranio (descontinuada en 1997), impulsar el desarrollo de diferentes tipos de combustibles (como los combustibles mixtos) y reactivar la planta de enriquecimiento de uranio y desarrollar nuevas tecnologías de enriquecimiento.⁸ Esto permitiría mantener en el futuro la capacidad de decisión respecto al tipo de tecnologías a incorporar, esto es, no afectar el principio de la autonomía tecnológica.⁹

Finalmente, respecto del proyecto CAREM, según la CNEA éste permitiría insertar al país en la carrera de los SMR, constituyendo una oportunidad para posicionar a la Argentina como un país innovador en tecnología nuclear e insertarse en el mercado mundial como potencial exportador de este tipo de tecnología. Adicionalmente, incorporó como justificación su potencial contribución al proceso de descarbonización industrial y la promoción de fuentes renovables mediante la producción de calor, electricidad e hidrógeno sin emisiones (CNEA, 2021). Es decir, definiendo a la energía nuclear como una opción tecnológica, económica y ambientalmente viable.

Por lo tanto, además de legitimar el plan al igual que en la década de 1960 y 1970 en función de su impacto en la diversificación de la matriz energética y el desarrollo industrial, se incorporó como elemento novedoso su contribución al proceso de transición energética, considerando que las energías renovables no pueden cubrir las necesidades energéticas en un plazo de tiempo razonable para transicionar desde los combustibles fósiles hacia esas fuentes de energía, y que las mismas, por sus ciclos de funcionamiento e intermitencia, no garantizan la cantidad de energía necesaria en los momentos que necesita ser consumida (Zappino, 2023).

De esta forma, se reprodujeron los principios sobre energía nuclear emanados desde la IAEA y la industria nuclear a nivel mundial.

8 Que incluye el desarrollo de (i) elementos combustibles de mayor quemado para reactores de generación III y IV, (ii) para reactores del tipo PWR, (iii) para el reactor CAREM, (iv) introducir mejoras de los elementos combustibles para la central de Atucha II y (v) consolidar la tecnología de fabricación de elementos combustibles de óxidos mixtos.

9 En 214 se finalizaron las tareas de recuperación de las capacidades de enriquecimiento de uranio mediante la tecnología de difusión gaseosa en la planta piloto del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu. Por otro lado, se impulsaron líneas de investigación y desarrollo para obtener las tecnologías de ultracentrifugación y de separación isotópica por láser para enriquecimiento de uranio.

En este sentido, de desarrollar de forma paralela la incorporación de nuevos reactores de potencia para proveer energía de base y los SMR para complementar la oferta de energía a través de fuentes renovables (sistema de generación híbrido). Aunque incorporando elementos particulares: constituir al país en exportador de tecnología nuclear, aprovechar las capacidades tecnológicas e industriales adquiridas en las etapas anteriores, contribuir a la solución del déficit del sistema eléctrico y apalancar el desarrollo de otros sectores productivos.

Sin embargo, a lo largo de este proceso los combustibles fósiles fueron adquiriendo una creciente centralidad, en particular el gas no convencional en la región de Vaca Muerta (provincia de Neuquén), por su importancia para reducir el impacto negativo de las importaciones de gas desde Bolivia sobre la balanza de pagos e incrementar los ingresos de divisas vía exportaciones en un contexto de creciente restricción externa de la economía, por lo que los factores de orden macroeconómico se impusieron en la agenda energética (Ceppi, 2022). Esto impidió desarrollar una planificación integral tendiente a modificar la matriz de generación eléctrica estableciendo un esquema coordinado y articulado de incorporación de diferentes tipos de equipamiento eléctrico, de forma tal, que el desarrollo de una fuente de energía impida el desarrollo de las otras.

5. Conclusiones

El desarrollo de una industria nuclear en Argentina si bien acompañó los ciclos de expansión y retroceso de la industria nuclear a nivel mundial, se basó en un conjunto de decisiones estratégicas que permitieron alcanzar una relativa autonomía tecnológica y conformar un complejo industrial-nuclear integrado por la CNEA y un número reducido de empresas asociadas encargadas de la producción de diferentes insumos. Bajo la idea rectora de la autonomía tecnológica se persiguió contribuir con el desarrollo del sistema eléctrico a través de la diversificación de la matriz energética, operar centrales nucleares con combustibles de producción nacional; establecer acuerdos de cooperación con proveedores externos dispuestos a otorgar facilidades financieras y tecnológicas (apertura del paquete tecnológico) y posicionar al país como exportador de tecnología nuclear (Lugones, 2020).

A partir de 2006, la estrategia desplegada se fue estructurando en torno a: (i) continuar con el desarrollo de centrales de uranio natural y agua pesada, (ii) incorporar la línea de reactores de uranio enriquecido e (iii) insertarse en la carrera internacional por introducir al

mercado un SMR de diseño propio. Por un lado, las decisiones adoptadas estuvieron determinadas en base a las capacidades tecno-industriales adquiridas, y por el otro, por decisiones condicionadas por circunstancias externas al programa nuclear: conformar una alianza estratégica con China y acceso a financiamiento para sostener el programa de inversiones.

En este sentido, el principal desafío que enfrenta la industria nuclear argentina radicó en las dificultades de mantener en el tiempo las decisiones adoptadas al no poderse garantizar los recursos financieros para sostener el volumen de inversión de capital requerido. Aspecto que resulta especialmente crítico en el caso del CAREM, ya que se compite con otros prototipos en desarrollo por países que sostienen un elevado nivel de inversión en sus respectivos proyectos. Por lo tanto, se enfrenta el riesgo de quedar rezagados en la carrera por el liderazgo en este tipo de reactores (Cúneo, 2024).

Los giros político-ideológicos que se produjeron entre finales de 2015 y 2024 se tradujeron en la implementación de decisiones coyunturales que derivaron en atrasos en los giros presupuestarios y en una continua revisión de la estrategia de asociación con China. Las marchas y contramarchas evidenciadas muestran que no se logró construir una posición consistente en la disputa geopolítica entre EE.UU. y China, esto es, de sostenimiento de la búsqueda de la autonomía tecnológica pese a las presiones externas. Y que a su vez es un indicativo de que, a diferencia de lo que ocurrió entre 1950 y 1980, el sector nuclear no logró construir un consenso sólido en torno a la importancia de impulsar el desarrollo nuclear del país.

Por otro lado, el potencial impacto de la industria nuclear para generar encadenamientos aguas arriba y abajo se vio debilitado por una inadecuada articulación entre las políticas tecnológicas, con las industriales y las de infraestructura (Lavarello y Sarabia, 2015).

Finalmente, la prioridad asignada al objetivo macroeconómico de reducir la restricción externa resultó en la ausencia de una planificación integral de incorporación de diferentes tipos de equipamiento eléctrico. Es decir, no se fijaron mecanismos de complementación entre la nucleoelectricidad con la energía eólica y solar. Dando lugar a un escenario de incertidumbre que afectó la consistencia de la política nuclear, dejando vulnerable a la industria nuclear a los cambios de la coyuntura nacional e internacional.

En conclusión, alcanzar la autonomía tecnológica, y derivada de ésta, la autonomía energética, depende de las decisiones en materia de selección de tecnologías. Sin embargo, dicha selección no constituye un hecho aislado, está condicionado por la trayectoria previa y el contexto interno como externo. Lo que supone la construcción de capacidades institucionales complementarias a las capacidades en

I+D+i para impulsar procesos de desarrollos tecno-productivos que apuntan a modificar el patrón de especialización de un país.

Y atendiendo a que el proceso de transición energética plantea nuevas formas de dependencia y competencia, aprovechar la energía nuclear como base para el impulso de las fuentes renovables, requiere articular el desarrollo e incorporación de diferentes tecnologías para lograr una efectiva complementación entre dichas fuentes de energía.

Referencias bibliográficas

- Blinder, D., & Vila Seoane, M. (2023). Presiones estadounidenses a la cooperación tecnológica con China: el caso del sector nuclear de Argentina. *Relaciones Internacionales*, (53), 91–110. <https://doi.org/10.15366/relacionesinternacionales2023.53.005>
- Caro, A. (2023). *La generación nucleoelectrica en Argentina y el mundo*. Buenos Aires: FUNDAR.
- Ceppi, N. (2022). La gobernanza energética de la República Argentina en el siglo XXI: Desentrañando sus ejes centrales. *Relaciones Internacionales*, 95(1): 147-167. <https://doi.org/10.15359/ri.95-1.6>
- Char, N.L. & Csik, B.J. (1987). El desarrollo de la energía nucleoelectrica: historia y porvenir. *IAEA Bulletin*, 3, 19-25.
- CNEA (2021). *Boletín Energético 48*. Buenos Aires: CNEA.
- CNEA (2024). *Boletín Energético 52*. Buenos Aires: CNEA.
- Cúneo, D. (2024). La planificación estatal de grandes programas tecnológicos desde la semiperiferia: los proyectos CAREM y ARSAT. *Realidad Económica*, 54(363): 89-120.
- Delmastro, D., Gil Posadas, C., Di Pace, M., Chocron, M., Conti, M. e Irigaray, M. (2017). CAREM escala comercial. *Revista CNEA*, XVII (67/68).
- González, A., Frischengruber, K., Recalde, J., Solanilla, R., & Vanzulli, R. (1987). *ARGOS PHWR 380 Argentine Offer of a Safer Pressurized Heavy - Water Reactor of 380 MW*. Informe N° 484. Buenos Aires: CNEA.

- Haro Sly, M.J. (2019). Ciencia y tecnología de China y la cooperación sino-argentina. *Revista Ciencia, Tecnología y Política*, 2(3). <https://doi.org/10.24215/26183188e029>
- IAEA (2020). *Advances in Small Modular Reactors and Technology Developments*. Viena: IAEA.
- IAEA (2022). *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. A suplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)*. Viena: IAEA.
- Lavarello, P. & Sarabia, M. (2015). *La política industrial en la Argentina durante la década de 2000*. Serie Estudios y Perspectivas 45. Santiago de Chile: CEPAL.
- Lugones, M. (2020). *Política nuclear y política energética en la Argentina. El Programa Nucleoeléctrico de la CNEA (1965-1985)*. Tesis de posgrado. Bernal: UNQ.
- Merke, F. (2022). *Geopolítica, globalización y cambio climático. La Argentina frente a un mundo en disrupción*. Fundación ICBC.
- Rodríguez, M. (2020). *Estado, industria y desarrollo. Atucha II y la senda del Programa Nuclear Argentino (1979-2014)*. Rosario: Prohistoria ediciones.
- Varas, G. J. & Salazar, C. Q. (2017). La energía nuclear en China: pasado, presente y futuro (1ª parte). *DYNA: Ingeniería e Industria*, 92(2), 129-135. <https://doi.org/10.6036/8247>
- Zappino, J. S. (2023). Ingeniería y desarrollo en el sector nuclear. El CAREM-25: primer reactor nuclear de potencia íntegramente argentino. *Cuadernos del INAP*, 4(125).