

INAP

ISSN 2683-9644

CUINAP | Argentina

Año 3 • 2022 | Cuadernos del INAP

Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III

Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1

Jorge Salvador Zappino

84

Capacitar e investigar para fortalecer las capacidades estatales

Argentina unida



CUINAP | Argentina

Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III

Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1

Jorge Salvador Zappino

84



Autoridades

Dr. Alberto Ángel Fernández

Presidente de la Nación

Dr. Juan Luis Manzur

Jefe de Gabinete de Ministros

Dra. Ana Gabriela Castellani

Secretaria de Gestión y Empleo Público

Lic. Mauro Emanuel Solano

Director Institucional del INAP

Índice

Introducción	10
1 La energía nuclear y la generación de nucleoelectricidad	14
2 Breve historia del sector nuclear en la Argentina, 1950-2006	23
3 Historia y desarrollo de Nucleoeléctrica Argentina S.A.	35
A modo de conclusión	59
Referencias bibliográficas	62

Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III



**Jorge
Salvador
Zappino**

Licenciado en Ciencia Política por la Universidad de Buenos Aires (UBA), Magíster en Historia Económica y de las Políticas Económicas (UBA), y Magíster en Generación y Análisis de Información Estadística (UNTREF). Ejerció como docente universitario en la UBA y desarrolló diversas actividades en otras universidades públicas y privadas del país. Actualmente se desempeña como investigador en la Dirección de Gestión del Conocimiento, Investigación y Publicaciones del INAP.

Resumen

Un hecho trascendental en la historia del crecimiento económico lo constituye la Revolución Industrial que se inició en Gran Bretaña en el siglo XVIII. Hacia fines del siglo XIX se generaliza el uso del petróleo como combustible que, a su vez, hizo posible el uso de motores para el transporte, el desarrollo del automóvil y de la industria petroquímica. Posteriormente, la energía eléctrica aumentaría significativamente el nivel de vida de las sociedades. De este hecho, se desprende que la vinculación entre generación de energía y desarrollo económico es uno de los rasgos principales del mundo actual. Cada nación procura elegir su matriz energética en función de la disponibilidad de fuentes primarias. En este sentido, la diversificación de esta matriz apunta a romper el monopolio de un determinado combustible para la generación de energía.

Existen diversas energías limpias con características particulares en términos de disponibilidad. En el caso de la energía nuclear, la disponibilidad no depende del clima. Además, produce bajas emisiones de carbono, lo cual la hace viable para evitar los gases de efecto invernadero. Junto con las fuentes de energía renovables y el cambio del carbón por el gas como combustible, el aumento en la producción de energía nucleoelectrónica contribuyó a estabilizar las emisiones en la escala mundial.

En la Argentina, en los años noventa, el Estado inició un repliegue en la esfera económica, incluyendo el sector de la generación de energía. Las reformas se concentraron en la estabilización de los precios a través de la política fiscal, mediante la adopción de las ideas acerca del nuevo papel del Estado en la economía, de la venta de activos y las masivas privatizaciones de los servicios públicos, todo enmarcado en una visión que considera la generación de energía —entre otros procesos— como una mercancía

y no como un bien estratégico. Es en este contexto surge la empresa Nucleoeléctrica Argentina S.A., motivo de este estudio.

Palabras clave

Energía nuclear, empresas públicas, tecnología, desarrollo, Nucleoeléctrica Argentina.

Abstract

An essential event in the history of economic growth is the Industrial Revolution that began in Great Britain in the eighteenth century. Towards the end of the 19th century, the use of oil as fuel became widespread. This fuel made possible the use of engines for transportation, the development of the automobile and the petrochemical industry. Later, electrical energy would appear increasing the standard of societies lifestyle. Therefore, the link between energy generation and economic development is one of the main features of today's world. Each nation tries to choose its energy matrix based on the availability of primary sources. In this sense, its diversification aims to break the monopoly of a certain fuel for power generation.

There are several clean energies, with particular characteristics in terms of their availability. Nuclear energy availability does not depend on the weather. On the other hand, it produces low carbon emissions, which makes it feasible to avoid greenhouse gases. Together with renewable energy sources and the shift from coal to gas as a fuel, the increase in nuclear power production helped stabilize emissions on a global scale.

In Argentina, the State began a withdrawal in the economic sphere, including the energy generation sector in the 1990s. The reforms focused on the stabilization of prices through fiscal policy, by adopting the ideas about the new role of the State in the economy, the sale of assets and massive

privatization of public services, all framed in a vision that considers energy generation, among other processes, as a commodity and not as a strategic good. It is in this context that the company that is the subject of this study emerges: Nucleoeléctrica Argentina S.A.

Key words

Nuclear energy, public companies, technology, development, Nucleoeléctrica Argentina.

Introducción

El objetivo central, el objetivo alrededor del cual hay que desarrollar el conjunto de acciones de una política tecnológica nacional, debe ser el del desarrollo de una capacidad autónoma en el manejo de la tecnología (Sábato, 1983).

Un hecho trascendental en la historia del crecimiento económico lo constituye la Revolución Industrial, que se inició en Gran Bretaña en el siglo XVIII y luego se extendió al resto de Europa y los Estados Unidos durante el siglo siguiente. En esa revolución se produjo un salto tecnológico y productivo a partir de la invención de la máquina de vapor y la transformación del calor en energía mecánica, que generó una capacidad productiva mayor a la que existía hasta ese momento.

Hacia fines del siglo XIX se generalizó el uso del petróleo como combustible, hecho que provocó una alteración radical de las estructuras productivas. Este uso generalizado permitió el empleo de motores para el transporte, el desarrollo del automóvil y de la industria petroquímica. Luego, llegaría la energía eléctrica, que aumentó significativamente el nivel de vida de las sociedades. De aquí se desprende que la vinculación entre generación de energía y desarrollo económico es uno de los rasgos principales del mundo actual.

Disponer de energía implica, para las naciones, no depender de terceros para la realización de sus planes de desarrollo. El acceso a la energía se convirtió, de esta manera, en una variable geopolítica y geoeconómica central. Cada nación procura elegir su matriz energética en función de la disponibilidad de fuentes primarias. En este sentido, la diversificación de la matriz energética apunta a romper el monopolio de un determinado combustible para

la generación de energía. En efecto, las consecuencias derivadas de la producción de energía a partir de los combustibles fósiles, vinculadas a las emisiones de gases de efecto invernadero y a los problemas de salud relacionados con la contaminación del aire, llevaron a que prácticamente todas las partes involucradas en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1993 convinieran en preparar determinadas contribuciones en el nivel nacional con el objetivo de adoptar medidas urgentes en ese sentido. A partir de allí, hubo diversas iniciativas globales que procuraron fomentar la cooperación en la lucha contra el calentamiento global a partir de la reducción de las emisiones contaminantes y la promoción de las llamadas energías «limpias» o «verdes».

Existen diversas energías limpias con características particulares en términos de disponibilidad. Por ejemplo, la generación eólica tiene ciclos de vientos y depende de la existencia e intensidad de estos; la generación hidroeléctrica tiene ciclos anuales y depende de los caudales y de las lluvias; la generación térmica depende del abastecimiento de combustibles fósiles, cada vez más caros y finitos, además de sus efectos indeseables en lo relativo a la sostenibilidad ambiental. La energía nuclear, en cambio, genera una energía cuya disponibilidad no depende del clima. Además, su generación produce bajas emisiones de carbono, lo cual la hace viable para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. Junto con las fuentes de energía renovables y el cambio del carbón por el gas como combustible, el aumento en la producción de energía nucleoelectrica contribuyó a estabilizar las emisiones de CO₂ a escala mundial (NA-SA, 2019). Además, cuenta con reservas enormes para varias décadas. La operación de las centrales nucleoelectricas libera una cantidad muy pequeña de radiactividad, sin perjuicios significativos para el medio ambiente (Petrescu *et al.*, 2016).

Si nos adentramos en la historia de países como la Argentina, veremos que la generación de energía estuvo —y en buena parte de ellos aún lo está— en manos de empresas públicas o mixtas con participación del Estado y, la mayoría de las veces, resulta un mercado monopólico. De esta manera, cualquier análisis basado en el sector energético, en general o en alguna de sus partes, resulta imprescindible para la comprensión del desarrollo económico.

Sin embargo, a partir de mediados de los años setenta, la mayoría de los países latinoamericanos, la Argentina entre ellos, iniciaron un repliegue de la actividad del Estado en la esfera económica y, por lo tanto, también en el sector de la generación de energía. Sería en la década de los noventa cuando los gobiernos neoliberales producirían un cambio radical en el mercado eléctrico argentino. Las reformas se concentraron en la estabilización de los precios a través de la política fiscal, mediante la adopción de las ideas acerca del nuevo papel del Estado en la economía, de la venta de activos y masivas privatizaciones de los servicios públicos, todo enmarcado en una visión que considera la generación de energía —entre otros procesos— como una mercancía y no como un bien estratégico. En este contexto surge la empresa Nucleoeléctrica Argentina S.A. (en adelante NA-SA), motivo de este estudio.

Este trabajo se estructura en dos partes. La primera consta de tres capítulos y las conclusiones. En el capítulo 1 se introducen algunos conceptos en materia de generación de energía nucleoelectrica. En el capítulo 2 se realiza un breve repaso de la historia del sector nuclear en la Argentina. En el capítulo 3 se presentan las características, la historia y el desarrollo de NA-SA. Finalmente, en las conclusiones se analizan los aspectos principales del desarrollo nuclear argentino y la inserción de la empresa en sector nuclear.

La segunda parte consta de una introducción, tres capítulos y una conclusión. En el capítulo 1 se analizarán las principales características del mercado eléctrico argentino y la participación de NA-SA. En el capítulo 2 se realizará un breve repaso de algunos aspectos financieros y de capital humano de la empresa. En el capítulo 3 se mostrarán los principales conceptos que convierten a NA-SA en un actor importante del desarrollo nuclear en la Argentina. Finalmente, en las conclusiones, se realizará el análisis final del significado de la existencia de NA-SA como una contribución importante al desarrollo socioeconómico argentino con capacidades técnicas y humanas puestas al servicio de la generación de energía no contaminante.

La energía nuclear y la generación de nucleoelectricidad

1.1 Breve historia de la energía nuclear

A partir del siglo XIX se producen importantes descubrimientos en los campos de la física y la química. Comienzan en 1879 con Crookes, quien ionizó un gas por descarga eléctrica, y a partir de ese momento, se sucedieron otros, como los rayos X y gamma, y el descubrimiento del electrón. A fines del siglo XIX, el matrimonio Curie aislaba el elemento radiactivo radio. En 1905, Albert Einstein desarrolló su Teoría de la Relatividad. También por esos años, Rutherford y Bohr dieron a conocer que el átomo neutro se componía de una carga negativa constituida por los electrones que rodean a un núcleo central de carga positiva, la cual contiene la mayor parte de la masa total del átomo.

Ya en los años treinta del siglo XX, Bothe bombardeó berilio con partículas alfa provenientes del polonio y detectó una irradiación que, al principio, fue descrita como rayos gamma. No obstante, en 1932 Chadwick demostró que se trataban de partículas desconocidas hasta ese momento: los neutrones, de masa aproximadamente igual a los protones, pero con carga eléctrica nula. Neutrones y protones unidos constituyen el núcleo atómico.

En 1939 los alemanes Hahn y Strassmann obtuvieron bario de la irradiación de uranio con neutrones. De esta manera se llegó al concepto principal de la fisión nuclear. Más adelante, el italiano Fermi demostró que durante ese proceso también se emitían neutrones, lo que llevaba a pensar en una reacción en cadena para producir grandes cantidades de energía.¹ Dos años después, Seaborg descubrió el plutonio que, al igual que el uranio es fisible.² En julio de 1939 cuatro científicos le enviaron una carta al presidente de los Estados Unidos, Franklin D. Roosevelt, explicándole la posibilidad de construir una bomba atómica con uranio, ante los adelantos logrados por la Alemania nazi. De esta manera se da comienzo al denominado «Proyecto Manhattan». Luego de numerosos experimentos acerca de la capacidad del uranio para provocar una reacción en cadena como para producir una bomba, Fermi construyó el primer reactor nuclear denominado «pila atómica». Finalmente, el 2 de diciembre de 1942, el experimento tuvo éxito y se logró producir una reacción en cadena controlada. En ese momento se instaló un laboratorio en Los Álamos, Nuevo México, dirigido por Robert Oppenheimer. La primera bomba nuclear fue probada en Alamogordo, Nuevo México, en julio de 1945. En agosto de ese mismo año, fueron lanzadas en las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki para poner fin a la Segunda Guerra Mundial. Pronto, la Unión Soviética tuvo sus propias armas nucleares. Luego se crearía la bomba de hidrógeno o de fusión nuclear.³ Posteriormente, Francia, China, la India y Gran Bretaña se sumarían a los países con armamento nuclear.

1 Al fisionar un núcleo impactado por un neutrón, libera otros neutrones que impactan en otros núcleos para producir nuevas fisiones. La energía que liberan los explosivos clásicos a nivel molecular, como la dinamita o el TNT, son del orden de decenas de electronvoltios (una unidad de energía utilizada a nivel atómico). En cambio, la fisión libera valores del orden de los millones de electrón-volts (Foro Nuclear, *sf*).

2 Un elemento es fisionable, fisible o físil, cuando su núcleo es capaz de experimentar una fisión con neutrones libres de cualquier energía (Rincón Educativo, *sf*).

3 Fusión nuclear es el fenómeno por el cual dos núcleos se unen para conformar otro, liberando en este proceso una considerable cantidad de energía, mayor que la que produce el proceso de fisión nuclear. Este fenómeno fue utilizado para desarrollar bombas muchísimo más mortíferas que las que estallaron en Hiroshima y Nagasaki, que eran de fisión.

Una vez que el desarrollo nuclear se convirtió en una realidad, surgieron los temores de que dicha tecnología fuera utilizada únicamente para la industria armamentística. Por eso la comunidad internacional creó organismos que regulan el desarrollo nuclear y la transferencia de tecnología sensible desde los países que ostentan ese desarrollo hacia otros Estados que pretenden alcanzar esa meta. Las políticas de no proliferación nuclear se hicieron efectivas por medio de dos instituciones: el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), máxima autoridad internacional en materia nuclear, que fue creado en 1957 como un órgano autónomo de las Naciones Unidas; y el Grupo de Suministradores Nucleares (GSN), conformado en 1975⁴ por aquellos países que exportan material nuclear. Además, el temor de la comunidad internacional llevó a promover la firma de dos tratados relevantes: el de Tlatelolco y el TNP (Tratado de No Proliferación). El primero de ellos data de 1967 y tiene como objetivo lograr la proscripción del armamento nuclear en América Latina. El Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP), de 1968, planteó evitar la proliferación de armas nucleares en el nivel mundial. Ambos tratados dieron paso al uso de la energía nuclear con fines pacíficos.

1.1.2 Los primeros reactores nucleares

La Marina de los Estados Unidos fue la primera en utilizar reactores nucleares para la propulsión de submarinos, con el fin de desarrollar largas distancias a alta velocidad sin recargar combustible y permanecer en inmersión más tiempo, dado que esos reactores no consumen oxígeno.⁵ Por un lado, en el ámbito privado, la empresa estadounidense Westinghouse experimentó con

4 Se creó como consecuencia de las pruebas nucleares llevadas a cabo un año antes por la India, que evidenciaron que la tecnología nuclear transferida para propósitos pacíficos podía ser fácilmente derivada para usos bélicos.

5 El primer submarino nuclear fue el Nautilus, construido en 1955.

un reactor como elemento motriz para una planta de generación eléctrica. A estos reactores, productores de energía eléctrica, se los conoce como centrales nucleares.⁶ El combustible era dióxido de uranio enriquecido, y utilizaba agua liviana como refrigerante. Al utilizar agua presurizada, se denominó popularmente PWR (*Pressurized Water Reactor*). Por otro lado, General Electric desarrollaba los reactores de ciclo directo BWR (*Boiling Water Reactor*) en 1960.⁷ De esta manera, Westinghouse y General Electric ingresaban al mercado con centrales de 500 MWe,⁸ en competencia con las centrales que utilizaban combustibles fósiles (Calabrese, 1997).

Como variantes de los PWR y los BWR, la empresa privada Siemens (Alemania) y la estatal Framatom (Francia) desarrollaron sus propios diseños de reactor. Siemens desarrolló reactores con dióxido de uranio natural como combustible y agua pesada como moderador (la primera central nuclear argentina, Atucha I, tendrá este tipo de reactor). Por su parte, Canadá desarrolló un reactor sobre la base del PWR, que presuriza solo parcialmente el núcleo usando también agua pesada y uranio natural —en lugar de presurizar el gran recipiente, se hace lo propio con los canales que contienen al refrigerante y combustible, los llamados «tubos de presión»—. Este concepto se denominó CANDU (*Canadian Deuterium Uranium*) (la segunda central nuclear argentina, Embalse, tiene este tipo de reactor). Por otro lado, existen otros tipos de reactores refrigerados a gas, como los ingleses y los soviéticos (VVER).⁹

6 Esta primera central comenzó a operar en 1957 con una potencia de 60 MWe. Fue el primer reactor comercial.

7 En este tipo de reactores, el agua común se utiliza como refrigerante y moderador. Esta alcanza la ebullición en el núcleo, formando vapor que se utiliza para impulsar la turbina que mueve el generador eléctrico (Foro Nuclear, s/f).

8 MWe: megavatios eléctricos. Se trata de la potencia extraída del generador de la planta nuclear (Foro Nuclear, s/f).

9 La sigla VVER remite a un reactor nuclear de agua presurizada desarrollado en la ex Unión Soviética y la actual Rusia. El nombre está asociado a que el agua funciona tanto como refrigerante como moderador de neutrones (Foro Nuclear, s/f).

1.1.3 De la energía nuclear a la energía nucleoelectrónica

La energía nuclear es la que se libera a partir de una reacción nuclear. Uno de sus usos más difundidos es la producción de energía eléctrica. En la Argentina, el 10 % de la energía eléctrica generada proviene de esa fuente.¹⁰ Existen dos tipos de reacciones nucleares: la fisión y la fusión. La fisión es la división de un núcleo de un átomo pesado, como el uranio o el plutonio, como consecuencia del impacto de un neutrón. Este impacto genera una reacción en cadena que libera energía en forma de calor. En cambio, la fusión es la unión de los núcleos de isótopos de hidrógeno, que también libera gran cantidad de energía térmica. Este es el proceso de liberación de energía que ocurre en las estrellas (entre ellas el Sol).¹¹

1.1.4 ¿Cómo funciona una central nucleoelectrónica?

Para generar energía se necesita una gran cantidad de calor. Una central nuclear no tiene un funcionamiento muy distinto al de otras centrales eléctricas, la diferencia radica en la fuente que produce ese calor. En un reactor nuclear, ese calor es generado por la fisión de átomos de uranio que se produce bajo condiciones controladas.

Una fisión nuclear comienza con una reacción en cadena producida por el bombardeo de neutrones sobre el núcleo del reactor. Ahora bien, ¿cómo se bombardean los neutrones en un reactor? Los neutrones se generan en el mismo reactor, dentro del cual existe una fuente de fotoneutrones que se utilizan para iniciar la reacción en cadena. El uranio emite por sí solo

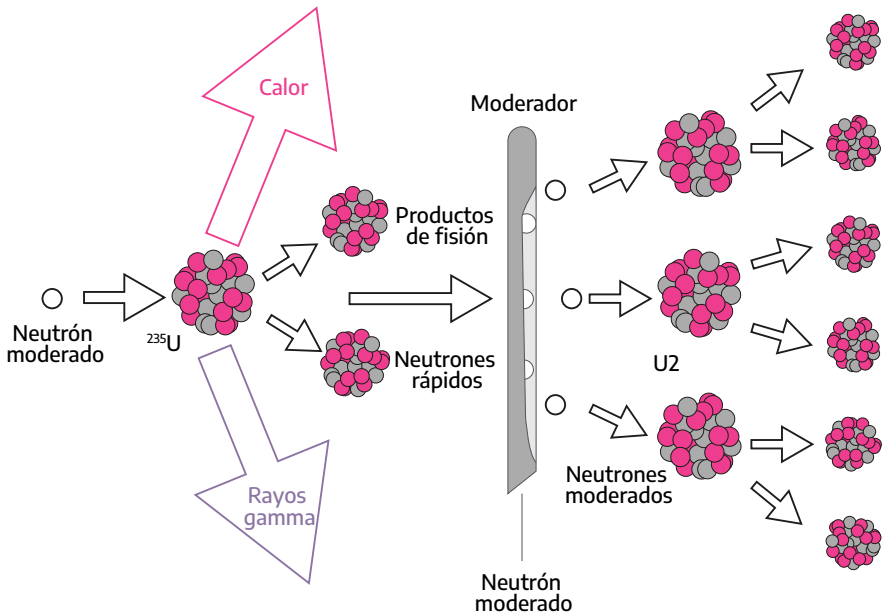
¹⁰ Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista (CAMMESA). Más información disponible en <https://portalweb.cammesa.com/default.aspx>

¹¹ Todavía no se ha logrado provocar una fusión de manera controlada para utilizarla como fuente de energía.

neutrones, pero hay una fuente adicional a la que emite el uranio no activado, que se produce por la radiación gamma que genera más neutrones en el átomo de uranio. Estos son los denominados fotoneutrones. Cuando se quiere arrancar un reactor, comienzan a extraerse las barras de control, que son fuertes absorbentes de neutrones, para que comience la reacción en cadena. Las barras de control interrumpen o inician la reacción en cadena.

Cuando un neutrón golpea a un átomo de uranio 235 (^{235}U) divide su núcleo, este impacto libera dos o tres neutrones que, a una velocidad adecuada, fisiónan otros átomos de uranio, iniciando una reacción en cadena controlada (Figura 1). Este proceso diferencia a una central nuclear de una central térmica convencional.

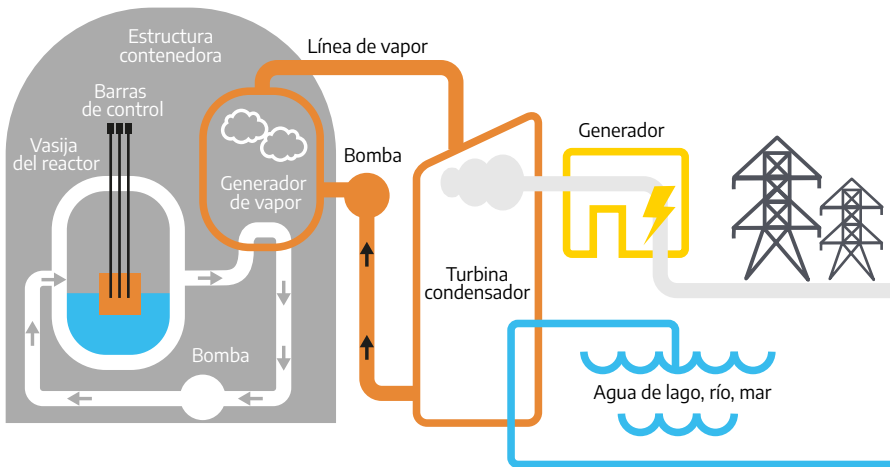
Figura 1. Fisión nuclear



Fuente: ilustración proporcionada por M. Carbonell, Central Embalse

Dentro del reactor, el agua pesada circula por impulsión de bombas, y la fisión eleva la temperatura del agua transfiriendo calor al generador de vapor. El vapor generado impulsa grandes turbinas que, conectadas a un generador eléctrico, permiten completar el proceso de generación de electricidad. Luego, el vapor pasa al condensador. Finalmente, el agua condensada regresa al generador de vapor para repetir el ciclo (Figura 2).

Figura 2. Esquema aproximado de una central de potencia



Fuente: ilustración proporcionada por M. Carbonell, Central Embalse

La figura 2 es representativa de las centrales Atucha I y Atucha II (PWR), situadas en la localidad de Lima, Buenos Aires, donde el agua es extraída del río Paraná de las Palmas. En el caso de la central de Embalse (CANDU), situada en la localidad de Río Tercero, Córdoba, el agua es extraída del embalse formado por este río. Las tres centrales funcionan con agua pesada y uranio natural o levemente enriquecido.

Por último, vale aclarar que las centrales nucleares necesitan de una licencia para su operación. En el caso argentino, el órgano emisor es la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). La ARN establece los vínculos legales con los partícipes de las actividades reguladas mediante procesos de licenciamiento y tiene control regulatorio sobre estas instalaciones y prácticas. En efecto, otorga licencias de operación y autorizaciones de prácticas específicas,

así como licencias o permisos individuales y autorizaciones específicas al personal con funciones relevantes de las instalaciones reguladas.¹²

12 El proceso de licenciamiento está disponible en <https://www.argentina.gob.ar/arn/instalaciones-practicas-y-personal-regulado/clasificacion-de-instalaciones>

Breve historia del sector nuclear en la Argentina, 1950-2006

2.1 Los comienzos: peronismo y energía nuclear 1950-1955

En la primera mitad del siglo XX se produce el despegue del proceso de industrialización en la Argentina. Este hecho ubica en el centro del debate el tema del abastecimiento de energía. Ya desde la Primera Guerra Mundial, las Fuerzas Armadas alertaban acerca de la situación de dependencia del abastecimiento de carbón proveniente de Gran Bretaña. En este sentido, Rodríguez (2021a) explica que el estallido de la Segunda Guerra Mundial contribuyó a profundizar aquellos temores. Si bien el petróleo comenzaba a desplazar al carbón como insumo clave del sector energético, la Argentina no contaba con grandes yacimientos. Como contrapartida, el grupo de oficiales que había conquistado el poder político tras el golpe de 1943, pugnaba por el fomento de una industria nacional integrada como condición indispensable para garantizar la seguridad del país. Así, la producción de acero, aeroplanos, automóviles y la industria química en general pasaron a contar con la intervención directa del Estado.

El gobierno, escribe Hurtado (2014), y un grupo de militares de orientación industrialista vieron en la energía atómica un camino para diversificar las

fuentes de energía. Sería el general Manuel Savio quien insistiría en que era necesario iniciar el desarrollo de los yacimientos de uranio y comenzar la prospección geológica a través de una asociación entre Fabricaciones Militares y la Universidad de Cuyo.¹³

El punto de partida fue la contratación de científicos extranjeros. En 1948 llegó el físico austríaco Ronald Richter, quien lograría que Perón creyera en su propuesta de dominio de la fusión controlada para acceder a una fuente ilimitada de energía. El 31 de mayo de 1950 se creaba la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), con el objetivo de promover el desarrollo pacífico de la energía nuclear, además de estudiar temas, como nucleoelectricidad y radioquímica. La CNEA fue colocada, desde el comienzo, bajo la órbita de las Fuerzas Armadas. Según Lugones (2020), esta protección sería el factor que le permitió a la industria nuclear mantener un desarrollo permanente a pesar de la inestabilidad política que sacudiría al país en las décadas siguientes. Richter sería nombrado al frente de la CNEA y también estaría a cargo de los laboratorios instalados en la Isla Huemul de Bariloche. Al año siguiente, Richter anunciaría que había logrado una fusión controlada. Este hecho fue aprovechado por Perón para comunicarlo al mundo. Sin embargo, la falta de pruebas suficientes hizo que el gobierno creara una comisión de científicos argentinos para que evaluara la veracidad o no de la afirmación de Richter; entre ellos se encontraba el Dr. José Balseiro. El dictamen de la comisión sería lapidario en sus conclusiones: todo había sido una farsa. Finalmente, en noviembre de 1952 el proyecto de la isla Huemul sería desmantelado. Sin embargo, los equipos adquiridos y las aspiraciones nucleares no fueron dejados de lado.

¹³ El pedido de Savio se formalizaría mediante el Decreto 22.855 de 1945.

2.2 La consolidación: industrialización y política nuclear 1955-1976

En septiembre de 1955 sería derrocado el gobierno constitucional del general Perón. A partir de este hecho, se pusieron en marcha políticas de estabilización macroeconómica de orientación ortodoxa que condujeron a una serie de reformas estructurales, con el fin de modificar los mecanismos de intervención del Estado sobre la economía. En este contexto, la CNEA fue reformada institucionalmente y se unificaron varias de sus dependencias. Sin embargo, la Marina mantendría el control directo sobre la institución. El mismo año del golpe de Estado, mediante un convenio con la Universidad de Cuyo, Balseiro obtuvo autorización para organizar una escuela de física permanente, hoy llamada Instituto Balseiro. Además, en 1956 las instalaciones de la CNEA se ampliarían tras la inauguración el Centro Atómico de Constituyentes (CAC), el Centro Atómico de Ezeiza (CAE) y el Centro Atómico de Bariloche (CAB).

En 1958, tras las elecciones desarrolladas con el partido peronista proscrito, asumiría la presidencia el Dr. Arturo Frondizi, quién pondría en marcha un programa desarrollista que, entre otros objetivos, planteaba una modificación de la matriz energética mediante el incremento de la generación hidroeléctrica y térmica impulsada por nuevas inversiones en la extracción de petróleo, con el fin de lograr el autoabastecimiento. De esta manera, se priorizaría la producción petrolera frente a los otros recursos energéticos. Pese a esto, en los próximos años se agravaría el déficit energético.

Por otro lado, durante la presidencia de Eisenhower, los Estados Unidos lanza el programa «Átomos para la Paz», con el objetivo de lograr un mayor uso pacífico de la energía nuclear. Además, mediante el mismo programa, este país comienza a promocionar la compra de reactores nucleares.

2.2.1 Sábato y la metalurgia en CNEA: camino a los primeros reactores de investigación y los combustibles nucleares

En 1954, en el seno de la CNEA, fue creada la División de Metalurgia, que fue puesta al mando del tecnólogo Jorge Sábato.¹⁴ El objetivo era el desarrollo de la materia en el país y la solución de problemas vinculados con el sector industrial. Este hecho resultaría fundamental al momento de la fabricación de los combustibles nucleares.¹⁵

En 1957 Quihillalt (presidente de la CNEA) trajo de los Estados Unidos los planos de un reactor desarrollado en el Argonne National Laboratory de Chicago. Esta acción, mediante la cual la Argentina se planteaba la construcción del primer reactor de investigación, diferenciaba al país de otras naciones en desarrollo que habían comprado los reactores «llave en mano». Así, la Argentina iniciaba un accionar conocido como «apertura del paquete tecnológico», mediante el cual la CNEA elegiría los componentes del reactor que pudieran ser desarrollados por la industria argentina, fomentando la participación científica y el crecimiento industrial local. Como consecuencia de esta política, el reactor conocido como RA-1, que se instaló en el Centro Atómico Constituyentes y que sería el primer reactor de investigación de América Latina, alcanzó su máxima potencia el 17 de enero de 1958. En su construcción participaron 32 empresas nacionales. Además, CNEA desarrolló innovaciones en los combustibles originales, luego patentada, que llevaron a la primera exportación de combustibles nucleares a Alemania Federal.¹⁶

14 Sobre la metalurgia en la CNEA ver Galvele (2009) y Galvele, Martínez Vidal, Wortman, Torres Sánchez y Sábato (1998).

15 Trataremos el ciclo del combustible nuclear en un trabajo posterior.

16 Luego del RA-1 siguieron el RA-0 en 1960; el RA-2 en 1966 y el RA-3 en 1967. Todos construidos íntegramente en el país, cada vez con mayor cantidad de proveedores industriales locales.

Según Hurtado (2014), el período transcurrido entre 1952 y 1968 se caracterizó por el afianzamiento institucional de la CNEA y la conformación de un «estilo sociotécnico» particular basado en la confianza en las capacidades propias y la búsqueda de la «autonomía tecnológica» con miras al desarrollo económico de las bases industriales del país. En 1965, la CNEA se propuso diversificar las fuentes de energía, incorporando la producción de energía nucleoelectrica. De esta manera, Argentina avanzaba hacia la instalación de la primera central nuclear de potencia.

2.2.2 Las primeras centrales: Atucha I y Embalse

En la medida que crecía la demanda de energía como consecuencia del funcionamiento del modelo de industrialización sustitutiva, era necesaria una nueva estrategia para conseguir la diversificación de la matriz energética, lo cual implicaba contar con una central nuclear de potencia. Además, este hecho posibilitaba que los aprendizajes científicos y tecnológicos alcanzados por la CNEA se derramaran en la industria local. Así, en 1963 se creó el Comité para el Estudio de Factibilidad de Centrales Nucleares, compuesto por el presidente de la CNEA, Quihillalt, Jorge Sábato, y otros científicos del sector. Este comité fijó como objetivo la realización de los estudios de factibilidad para la instalación de la primera central nuclear.

Estos estudios implicaron el análisis de dos tipos de reactores —de uranio natural y enriquecido— en dos niveles de potencia: 300 MW y 500 MW, determinados por la capacidad de la red. Sobre el emplazamiento de la central, el lugar elegido sería el norte del Gran Buenos Aires, ya que esa zona junto con el litoral del país concentraba gran parte del consumo nacional de energía (Rodríguez, 2021a). Con el objetivo de posibilitar la transferencia de tecnología y retener una cuota importante de participación de proveedores nacionales, se utilizó la figura de «apertura del paquete

tecnológico». Esta figura aseguraba la participación de la industria local en las áreas menos complejas, como la ingeniería civil, los servicios auxiliares y algunos componentes (Rodríguez, 2021c).

Otro tema de debate era el tipo de combustible que se utilizaría, que estaba vinculado con la decisión de producirlo localmente o de importarlo. El empleo de uranio enriquecido y agua liviana, que permitía trabajar con un diseño más moderno, pequeño y económico, no estaba disponible, ya que la tecnología de enriquecimiento requería grandes desembolsos de capital. Además, estaba sometida al sistema de salvaguardas¹⁷ y reforzaba la dependencia de Estados Unidos, el único proveedor de ese combustible. La opción de uranio natural y agua pesada requería de un aumento considerable de los costos de instalación, pero permitía emplear uranio obtenido y envasado localmente, a la vez que resultaba factible adquirir el *know how* para producir el moderador, es decir, el agua pesada (Rodríguez, 2021a).

Las ofertas recibidas a la licitación argentina fueron 17, provenientes de empresas de los Estados Unidos, Reino Unido, Canadá y Alemania Federal. Finalmente, a comienzos de 1968 se aceptó la oferta de Siemens-KWU (Alemania Federal) y, en mayo del mismo año, se firmó el contrato. La central sería emplazada en la localidad de Lima, Buenos Aires, sobre el margen derecho del río Paraná de las Palmas. Siemens financió la obra y varias empresas nacionales actuaron como subcontratistas, enmarcadas en la Ley 18.875 de 1970, denominada Compre Nacional. Esta política permitió abrir los paquetes tecnológicos y aumentar la competitividad de los productos argentinos respecto de los alemanes. Asimismo, a través de la Ley 18.243 se otorgaron beneficios a los proveedores nacionales,

17 Las salvaguardas son un conjunto de medidas técnicas aplicadas por el OIEA a materiales y actividades nucleares, por medio de las cuales este trata de verificar que las instalaciones nucleares no se utilizan de manera indebida y que los materiales nucleares no se desvían de los usos pacíficos (Organismo Internacional de Energía Atómica, s/f).

como el reintegro o la exención de impuestos y el derecho de importación para aquellos los requeridos por la industria local que no se fabricaban en el país. La política de Compre Nacional constituyó un espacio de diálogo entre la Secretaría de Industria, la CNEA, y las empresas del sector, a la vez que se impulsaban las capacidades industriales existentes en el país (Rodríguez, 2021b). Finalmente, la central sería puesta en funcionamiento el 13 de enero de 1974.

A finales de 1972 se formó una comisión con el fin de analizar las ofertas para construir una nueva central en Embalse, Córdoba. Una vez analizadas, se eligió la oferta presentada por la empresa estatal canadiense AECL (*Atomic Energy of Canadá Limited*) y la italiana Italmimpianti para construir un reactor tipo PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor*) de tipo CANDU. Según el contrato, Canadá transferiría a la CNEA la tecnología de este tipo de reactores, incluyendo la fabricación de los elementos combustibles, y le cedía los derechos para el empleo de esta tecnología dentro del territorio argentino sin pago adicional de licencias, regalías o cualquier otro concepto. Además, el número original de ítems que podrían aportar firmas locales fue elevado a 217 (Hurtado, 2014). La construcción de Embalse se inició en mayo de 1974. La central comenzó a operar en enero de 1984.

2.3 Sector nuclear y terrorismo de Estado: el Plan Nuclear de la dictadura 1976-1984

El 24 de marzo de 1976 se produjo el golpe militar que derrocó del gobierno de María Estela Martínez de Perón. Se iniciaba, de esta manera, una etapa de terrorismo de Estado y reversión del modelo de industrialización sustitutiva, reemplazado por un modelo de valorización financiera (Schvarzer, 1998). En este contexto, asume como nuevo presidente de la CNEA el vicealmirante Carlos Castro Madero, quién retomaría los objetivos que habían sido

planteados en el Plan Nuclear 1975-1985, con el fin de que la Argentina se preparara para la construcción de nuevas centrales nucleares. Esta aparente contradicción entre el modelo desindustrializador de Martínez de Hoz y esos proyectos nucleares es explicada por Hurtado (2014), quien sostiene que, si Castro Madero asumía que el programa nuclear debía promover el eslabonamiento de las capacidades de la industria local y la construcción de una trama científico-tecnológico-industrial, entonces la política nuclear sería incompatible con la política económica de la dictadura.

En este sentido, la cúpula militar lograría generar un consenso por el cual los desarrollistas no planteaban una oposición irreductible a las reformas económicas del grupo de Martínez de Hoz y, a cambio, los liberales aprobaban los gastos militares, el sostenimiento de las empresas del Estado y el plan de obras públicas, entre ellas, las que impulsaba Castro Madero. Como resultado, un sector de grandes empresas oligopólicas vinculadas a los capitales transnacionales fue privilegiado, gracias a diversos contratos, para la provisión de obras y en la participación de la provisión de bienes y materiales estratégicos. A pesar de esta vinculación, el sector de Ciencia y Tecnología no estuvo exento del terrorismo de Estado y la CNEA no fue la excepción (ver Hurtado, 2009).

En 1978 la CNEA presentó un plan nuclear de largo plazo, que incluía la construcción de cuatro centrales de 600 MW en 20 años, una planta de agua pesada y completar el ciclo del combustible nuclear. Además, se aprobaría la participación de empresas privadas en la minería del uranio. La licitación para la tercera central de potencia se realizaría en 1979, y establecía que la empresa ganadora tendría que asociarse con la CNEA en una empresa de ingeniería. De esta manera, se buscaba una participación mayor de proveedores nacionales que la que había existido en la construcción de Atucha I y Embalse. La central debía ser de 700 MW, de uranio natural

y agua pesada. En el proceso se presentaron dos empresas canadienses, la alemana Siemens-KWU y una empresa italiana. Para la planta de agua pesada se presentaron una empresa de Canadá, una de Suiza y dos de Alemania Federal. En agosto de ese mismo año se aprobó la oferta de Siemens-KWU y la conformación de una empresa mixta de ingeniería con la CNEA para la construcción de Atucha II. Además, se aprobó la oferta de la empresa suiza para la construcción de la planta de agua pesada en Arroyito, Neuquén. Asimismo, en 1980 se inauguró en el Centro Atómico Ezeiza la planta para la producción de zircaloy, aleación de circonio con la que se fabrican las vainas de los elementos combustibles que contienen el uranio natural. Finalmente, en julio de 1981 comenzaban las obras de Atucha II.

Otro proyecto de este período es el desarrollo del enriquecimiento de uranio, derivado de la crisis por la provisión para los reactores de investigación. En conjunto con la construcción del reactor RP-10 que realizó la CNEA para Perú, la Comisión decide impulsar el programa de enriquecimiento de uranio. En Hurtado (2014) se describe el proceso mediante el cual el 1 de agosto de 1978 por la mañana, un grupo tomó posesión de unas instalaciones alquiladas, ubicadas a 25 km de Bariloche. Fueron reclutados alrededor de veinte profesionales de la CNEA e INVAP, todos civiles. Mientras tanto, la CNEA había adquirido un terreno en Pilcaniyeu, a 60 km de Bariloche. En este lugar aislado sería construido el complejo para el enriquecimiento de uranio. El 26 de febrero de 1981 fueron obtenidos los primeros miligramos de uranio enriquecido.

En paralelo, a fines de octubre de 1981, la CNEA constituía la empresa mixta CONUAR S.A. (Combustibles Nucleares Argentinos), con una participación de un 33 % de la propia CNEA y el 67 % restante en manos de la firma Pecom Nuclear S.A. del grupo Pérez Companc, con el objetivo de lograr el autoabastecimiento de los elementos combustibles para las centrales de

potencia locales. La planta comenzó la producción industrial en marzo del año siguiente con un costo del 60 % de lo que se pagaba por su importación. CONUAR finalizó en su primer año la fabricación de los 250 elementos combustibles para Atucha I (Hurtado, 2014).

2.4 Crisis y estancamiento: el sector nuclear a la deriva 1984-2006

El 10 de diciembre de 1983 asumió el gobierno Raúl Alfonsín, en medio de una grave crisis económica, social y política. En lo económico, los temas más acuciantes eran la inflación, la deuda externa y un fuerte déficit fiscal, todo agravado por las fuertes subas en las tasas de interés internacionales y la ausencia de crédito. Al principio de su gobierno, pese a los problemas económicos, y en el marco de un programa heterodoxo, Alfonsín se puso como objetivo continuar con las obras de infraestructura eléctrica que estaban en ejecución, entre ellas las futuras centrales nucleares. Sin embargo, a partir de 1985, luego del fracaso del programa heterodoxo, se implementa un plan de estabilización que, entre otras medidas, tenía por objetivo el achicamiento de los gastos de inversión del sector público para reducir el déficit fiscal (Azpiazu y Schorr, 2010, p. 83).

Estas medidas impactaron fuertemente en el presupuesto de la CNEA y en el sector nuclear en general, ya que el proyecto Atucha II se encontraba paralizado por la insuficiencia de fondos. En realidad, todo el sector nuclear quedó en medio de un debate entre los que preferían que las inversiones se realizaran en la generación térmica convencional y los que pretendían continuar con el proceso de diversificación de la matriz aumentando el porcentaje generado por la energía nuclear. Sin embargo, según Lugones (2018), la CNEA indicaba que, tras evaluar el funcionamiento de las centrales de Atucha I y Embalse, la demanda futura del sector energético y la escasez

de otras fuentes de energía, se debía contemplar la nucleoelectricidad como alternativa en los planes del sector eléctrico.

Finalmente, la crisis económica del gobierno radical derivó en la moratoria de la deuda en 1988 y la hiperinflación de 1989. En este contexto, Alfonsín renunció a la presidencia para que en julio de 1989 asumiera el presidente electo Carlos Menem, quién pondría en marcha un profundo programa de reformas estructurales. Este programa, instrumentado a través de las leyes de Emergencia Económica y de Reforma del Estado, incluía la privatización de los servicios públicos y la eliminación del déficit fiscal. En efecto, entre otras cosas, significó la cancelación definitiva del Plan Nuclear y la reforma institucional de la CNEA. En ese contexto, fueron separadas las funciones de control de la seguridad nuclear al crearse la Autoridad Regulatoria Nuclear, y la de gestión de las centrales nucleares al constituirse la empresa Nucleoeléctrica Argentina S.A., en este caso, tras el intento fallido de la privatización de las centrales (Lugones, 2018).

Según Hurtado (2014), el cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos en 1983 en materia de no proliferación nuclear y los temores acerca del interés del gobierno militar por desarrollar armas atómicas determinaron, en primer lugar, que en 1988 se descontinuara el programa de enriquecimiento de uranio y, en segundo lugar, la anulación del contrato obtenido por INVAP para construir un reactor de investigación en Irán. La permanente inestabilidad económica y los sucesivos planes de ajuste en la década de los ochenta y principios de los noventa fueron condicionando crecientemente la capacidad de financiamiento de la CNEA. De esta forma, se produjeron atrasos en la programación de los diferentes proyectos en marcha; sin embargo, se pudo culminar la obra de la planta industrial de agua pesada y se creó la empresa ENSI S.E. en convenio con la provincia

de Neuquén para su operación.¹⁸ No obstante, en 1994 los problemas de financiamiento derivaron en la suspensión de la construcción de la Central Nuclear Atucha II.

2.5 El regreso: el Plan Nuclear del kirchnerismo 2006-2020

La situación de estancamiento y abandono se mantuvo hasta 2006, cuando el presidente Néstor Kirchner reimpulsó nuevamente el desarrollo nuclear argentino. El nuevo plan, instrumentado mediante la Ley 26.566, buscaba reactivar el desarrollo de la energía nuclear. Sus principales objetivos eran: finalizar Atucha II, iniciada en 1980 y paralizada desde 1994; construir una cuarta central nuclear; extender la vida útil de Atucha I y Embalse; fabricar un prototipo de reactor CAREM (planta nuclear de baja potencia de cuarta generación); poner en marcha la planta de producción de agua pesada de Arroyito y reanudar el proyecto de enriquecimiento de uranio.

Tanto la finalización de Atucha II, la extensión de vida de las centrales de Atucha I y Embalse, y el diseño, la construcción y la operación de las nuevas centrales serían encomendadas a NA-SA. Retomaremos estos temas en el siguiente capítulo.

¹⁸ ENSI fue creada en diciembre de 1989 con el objetivo de producir y comercializar Agua Pesada Virgen Grado Reactor (D2O), que es empleado como moderador y refrigerante en los reactores nucleares que utilizan uranio natural como combustible. (Más información disponible en <http://www.ensi.com.ar>).

Historia y desarrollo de Nucleoeléctrica Argentina S.A.

3.1 Caracterización de la empresa

Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) es la empresa que se encuentra a cargo de la operación de las tres centrales nucleares instaladas en el país: Atucha I, Atucha II y Embalse. Se encarga, además, de la comercialización en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) de la energía producida por las tres plantas y del gerenciamiento de proyectos que tengan por objetivo la construcción de futuras centrales nucleares en territorio nacional. La potencia instalada total de sus tres plantas es de 1763 MW.

Se trata de una sociedad anónima cuyo capital social accionario se encuentra distribuido entre el Ministerio de Economía de la Nación (un 79 %), la CNEA (un 20 %) e Integración Energética Argentina S.A. (IEASA) (un 1 %).¹⁹

Adicionalmente, con la Ley 26.566 de Actividad Nuclear, publicada el 24 de diciembre de 2009, se le encomendó las actividades de diseño, construcción, puesta en marcha, marcha de prueba, recepción y puesta en

¹⁹ Integración Energética Argentina Sociedad Anónima (IEASA) es una empresa pública argentina del sector petrolero y energético. Fue creada el 29 de diciembre de 2004 con el nombre de Energía Argentina S.A. (ENARSA), luego, en noviembre de 2017, fue modificado por el actual. (Más información disponible en <https://www.ieasa.com.ar>).

servicio comercial de una cuarta central de uno o dos módulos de energía de fuente nuclear que se construiría en la Argentina y la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse.

3.2 La creación de NA-SA

Como resultado de las transformaciones estructurales realizadas en la década de 1990, se produjo una profunda modificación en el mercado eléctrico nacional. La Reforma del Estado cambió la división administrativa de la CNEA, organismo del que dependían, hasta ese momento las centrales nucleares, las cuales se debían privatizar. Producto de la citada división nace la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), mientras que la CNEA retendría las funciones de formación de recursos humanos, investigación y desarrollo. Por el mismo decreto, el 7 de septiembre de 1994 se crea NA-SA con las funciones detalladas anteriormente. Su vicepresidente, el Lic. Jorge Sidelnik, describe de la siguiente manera el origen de la empresa:

El motivo fue el intento de privatización de las centrales nucleares. Dentro de la CNEA existía la Dirección de Centrales Nucleares, que tenía las dos centrales operativas, Atucha I y Embalse, y la responsabilidad de la construcción de Atucha II. Para la construcción de esta última central se había creado una empresa especial llamada ENACE,²⁰ una empresa argentina de la CNEA asociada a Siemens-KWU. Cuando se decide la privatización, se divide la CNEA, y la División de Centrales Nucleares se convierte en la empresa Nucleoeléctrica Argentina S.A. con el fin de privatizar las centrales. Esto no funcionó, porque además tenía como modelo la privatización del sistema

20 En 1981 se formó ENACE (Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A.), una empresa en la que el Estado tenía el 75 % y Siemens AG el 25 % restante. Dicho consorcio sería el encargado de la construcción de las futuras centrales nucleares del país, donde los alemanes aportaron el diseño de Atucha II y parte de la financiación. Según estaba previsto ENACE desaparecería alrededor de 1997, cuando todas las nuevas centrales nucleares planificadas estuviesen en operación.

eléctrico británico que también había fracasado. De esta manera, el Estado retuvo las centrales. Estimo que uno de los motivos por el cual fracasó la privatización fue que nuestras centrales eran más antiguas, tenían más riesgos, y estaba la condición de que la empresa que aceptaba tenía que hacerse cargo de la terminación de Atucha II. Y entonces queda NA-SA como una empresa del Estado a cargo de esas centrales (J. Sidelnik, comunicación personal, 9 de septiembre de 2021).

3.3 Las centrales nucleares a cargo de NA-SA

En la actualidad, la actividad que desarrolla NA-SA consiste en la generación y la comercialización de energía eléctrica producida por las tres centrales de potencia que posee la Argentina. En los siguientes apartados haremos una descripción de cada una de ellas.

3.3.1 Central Nuclear Atucha I

La Central Nuclear Atucha I está emplazada en la localidad de Lima, Buenos Aires. Originalmente debía ser una central de 340 MWe de potencia bruta, pero en 1977 fue elevada a 357 MWe. Es del tipo Reactor de Agua Pesada Presurizado (*Pressurized Heavy Water Reactors*—PHWR—), refrigerado y moderado por agua pesada (D_2O). El núcleo del reactor está compuesto por 252 posiciones con canales refrigerantes. Dentro de cada uno, se alojan los elementos combustibles en forma de pastillas de dióxido de uranio (UO_2)²¹ sinterizadas. La central comenzó su operación comercial el 24 de junio de 1974 y, desde ese momento, ha generado alrededor de 90 millones de MWe de energía, para lo cual se utilizaron más de 1500 toneladas de

²¹ El dióxido de uranio (UO_2) es un polvo negro, radiactivo y cristalino que aparece naturalmente en el mineral de uraninita (Foro Nuclear, s/f).

uranio. Debido a modificaciones en su combustible, desde 2001 emplea uranio levemente enriquecido al 0,85 %. Su actual potencia bruta es de 362 MWe (a partir de 2012).

En agosto de 1988, un desperfecto en uno de los canales de combustible del reactor provocó que la central perdiera potencia, en un contexto de grave crisis energética. Se entablaron arduas negociaciones con Siemens-KWU, que no llegaron a concretarse por una negativa de la empresa alemana a hacerse cargo de los costos de reparación. Finalmente, la CNEA asumió la responsabilidad de reparar el reactor con técnicas/os, ingenieras/os y empresas argentinas, lo que permitió que Atucha I volviera al Sistema Integrado Nacional.²²

El funcionamiento de Atucha I ha hecho posible un gran ahorro de recursos naturales con menor impacto ambiental, al tiempo que evita la destrucción de la capa de ozono y la lluvia ácida. Como ejemplo, se necesitaría un bosque de 250.000 hectáreas para neutralizar el efecto del dióxido de carbono (CO₂) producido por una central térmica de igual potencia. Por último, Atucha I posee un elevado factor de disponibilidad, y luego de realizada su Extensión de Vida, podrá operar con un factor de carga²³ del orden del 80 % anual.

3.3.2 Central Nuclear Embalse

La Central Nuclear Embalse se encuentra situada en la ribera sur del Embalse de Río Tercero, Córdoba. Su reactor es de tipo CANDU (*Canadian Deuterium Uranium*), de agua pesada presurizada (PHWR), de 648 MWe brutos de

22 Un desarrollo completo de esta reparación se encuentra en Almagro, Perazzo y Sidelnik (2017).

23 El factor de planta (también llamado factor de capacidad) de una central eléctrica es el cociente entre la energía real generada durante un período (generalmente anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme a los valores nominales de las placas de identificación de los equipos. Es una indicación de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo (Foro Nuclear, s/f).

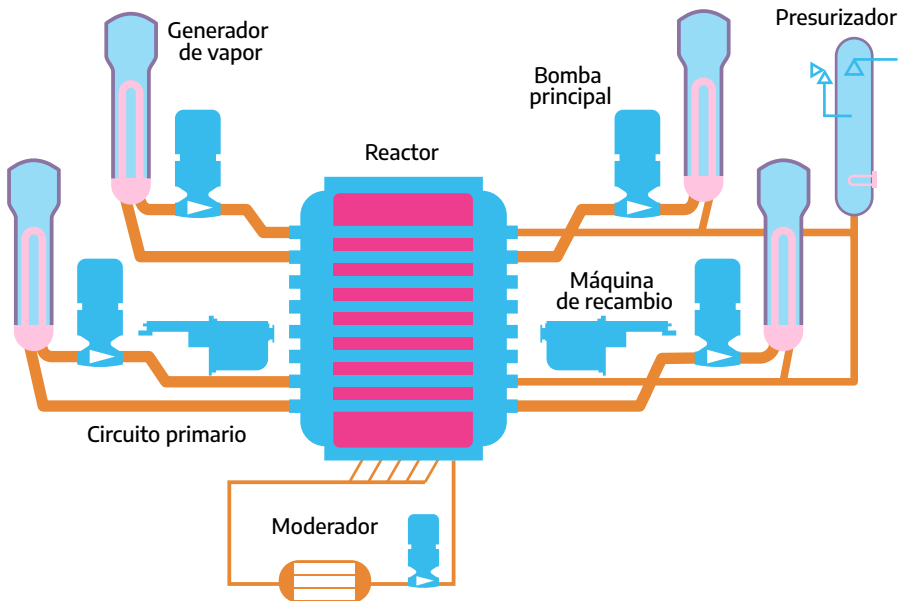
potencia eléctrica. Pertenece al tipo de centrales de tubos de presión, cuyo combustible es el uranio natural y su refrigerante y moderador es el agua pesada. Se inauguró en 1983 y comenzó su actividad comercial en 1984. Hasta el momento generó más de 140 millones de MW de energía.

Esta central es un importante generador para la provincia de Córdoba y la región centro del país. También participa en la producción del isótopo Cobalto 60 (CO60) con aplicaciones en la medicina, la investigación y la industria. Esto convierte a la Argentina en uno de los principales abastecedores del mercado local y mundial.²⁴ La central iniciaría en 2007 su Proyecto de Extensión de vida, tema que trataremos en el apartado 3.4.2.

Desde el comienzo de su operación, tuvo un factor de disponibilidad y de carga mayor al 80 %, y provee energía segura y confiable a más de tres millones de personas. En la figura 3 puede verse un esquema aproximado de la central de Embalse.

24 Abordaremos este tema en un trabajo posterior.

Figura 3. Esquema aproximado de la central de Embalse



Fuente: ilustración proporcionada por M. Carbonell, Central Embalse

Por su parte, en la figura 4 puede verse un esquema de contención aproximado de la central de Embalse.

3.3.3 Central Nuclear Atucha II

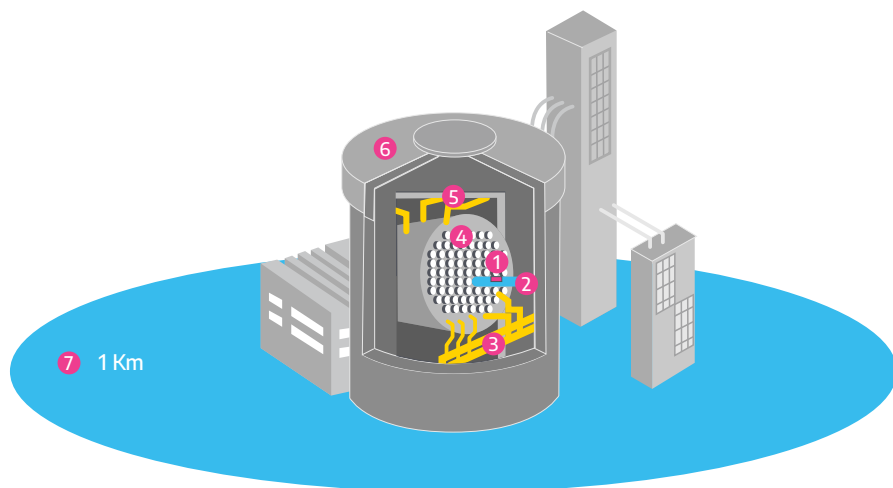
La Central Nuclear Atucha II se encuentra ubicada en la localidad de Lima, Buenos Aires, adyacente a Atucha I. Se trata de una central nucleoelectrónica de una potencia de 745 MWe que aporta 692 MW eléctricos netos al Sistema Argentino de Interconexión Eléctrica (SADI).

La piedra fundamental se colocó en 1982, y entre los años 1994 y 2006 estuvo paralizada, hasta el relanzamiento del Plan Nuclear Argentino en 2006. El reinicio de la obra representó la recuperación de técnicos y profesionales especializados: así se recobraron las capacidades nacionales para el gerenciamiento de construcción de centrales nucleares de potencia en la Argentina. Profundizaremos este tema en el apartado 3.4.1.

Desde el punto de vista del diseño y la construcción, presenta sistemas de seguridad actualizados, que incluyen el concepto de defensa en profundidad con barreras sucesivas,²⁵ esfera de contención, separación física entre sistemas de seguridad y programa de vigilancia en servicio, entre otros.

²⁵ Durante la Primera Guerra Mundial se desarrolló una estrategia militar defensiva llamada «defensa en profundidad». Su objetivo era prevenir la penetración y el avance del enemigo a través de las distintas líneas de defensa del ejército, mediante un elaborado sistema de trincheras interconectadas y puntos fortificados. Durante los años cincuenta, el sector nuclear estadounidense lo utilizó como analogía para la protección del público frente a las radiaciones ionizantes y las consecuencias de un accidente en un reactor nuclear. La clave de este concepto es la creación de múltiples capas independientes y redundantes (líneas de defensa) para compensar potenciales fallos humanos o técnicos, de forma que no se confíe únicamente en una capa de defensa, independientemente de lo robusto que esta sea (Campoy, Cuesta y Barreiro, 2020).

Figura 4. Esquema aproximado de las barreras de contención



Fuente: ilustración proporcionada por M. Carbonell, Central Embalse. Referencias: 1. Pastilla de uranio, 2. Elemento combustible (vainas selladas), 3. Sistema primario de transporte de calor (circuito cerrado), 4. Moderador (circuito cerrado), 5. Recinto del reactor, 6. Edificio del reactor, 7. Zona de exclusión.

El 3 de junio de 2014 se alcanzó la primera criticidad y, en 2015, se llegó al ciento por ciento de su potencia. Con su entrada en funcionamiento comercial, el turbogenerador de Atucha II se convirtió en la máquina de mayor potencia unitaria del SADI, posición que antes ocupaba la central de Embalse.

3.3.4 El combustible de las centrales nucleares

Un tema importante en la operatoria de las centrales y en el desarrollo tecnológico del sector nuclear en particular y del país en general, es el combustible nuclear, es decir, el combustible que utilizan las centrales nucleares para producir la fisión y, finalmente, la energía eléctrica.

Analizaremos el ciclo del combustible nuclear en un trabajo posterior, pero vale la pena introducir algunos conceptos fundamentales.

La Argentina forma parte del selecto grupo de 12 naciones²⁶ con capacidad para ejecutar todo el ciclo del combustible nuclear con fines pacíficos de manera autónoma, con profesionales y recursos propios. El proceso que conlleva este ciclo va desde la búsqueda del mineral de uranio —materia prima para toda la actividad nuclear— hasta la fabricación de un elemento combustible que puede ser utilizado tanto en un reactor de potencia para generar energía eléctrica, como en un reactor de investigación para la fabricación de radioisótopos destinados a la medicina nuclear. Todas estas actividades siguen las normativas dictadas por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), la legislación nacional vigente para la actividad nuclear y los compromisos internacionales asumidos por el país en cuanto a seguridad y uso pacífico de la tecnología nuclear.²⁷

Las actividades vinculadas al Ciclo de Combustible Nuclear se realizan respetando las normas de calidad y seguridad que establece el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que depende de Naciones Unidas. Ahora bien, ¿todas las centrales utilizan el mismo combustible? El Lic. Jorge Sidelnik aclara el tema:

Las tres centrales no utilizan el mismo combustible. En principio, los reactores son de uranio natural (un 99,3 % ²³⁸U y un 0,7 % ²³⁵U.²⁸ Embalse y Atucha II

26 Los restantes países son Estados Unidos, Reino Unido, Federación de Rusia, Francia, China, Alemania, Pakistán, Corea del Norte, Japón, India y Brasil.

27 El ciclo de combustible nuclear está disponible en <https://www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/ciclo-del-combustible-nuclear>

28 El uranio-238 es el isótopo de uranio más común que se encuentra en la naturaleza, con una abundancia relativa del 99 % pero, a diferencia del uranio-235, no es fisiónable. Esto significa que no puede sostener una reacción en cadena en un reactor (Foro Nuclear, s/f).

usan ese combustible. En Atucha I se realizó un cambio que permitió pasar de uranio natural a uranio levemente enriquecido. En lugar de un 0,7 % de ^{235}U se usa un 0,85 %. Con este cambio se ahorra el 40 % en cantidad de combustible, si bien no en términos económicos, porque el uranio es más caro, pero sí en menos combustible, menos residuos, etc. El «quemado»²⁹ que antes era de 6000 paso a ser de 10.500, lo que significa más tiempo en el reactor y, por lo tanto, menos combustible. La idea es realizar también esto en Atucha II.

En Atucha III, que será un reactor PWR, el combustible será uranio enriquecido al 3 o 4 %. La Argentina no tiene esa posibilidad. En este caso se consigue uranio natural (tonelada o tonelada y media de uranio enriquecido al 3 %), se mezcla y desde ahí se continúa con uranio al 0,85 %. Respecto de la relación entre el tipo de combustible y la cantidad de potencia de una central, podemos decir, por ejemplo, que si se quiere generar 1000 MWe en un PWR tengo que construir una central mucho más grande, con uranio natural y agua pesada. Las dimensiones de dicha central serían excesivas y debería utilizarse otra tecnología. Las centrales argentinas son de 600, 700 MWe. Los canadienses han desarrollado alguna de 900 MWe, pero ese es una especie de límite. Otro ejemplo, Atucha I tiene una vasija que produce 350 MWe, más o menos 1200 MW térmicos. La vasija es como la de un PWR de 1000. Es decir, hay una escala de 3 a 1 aproximadamente (J. Sidelnik, comunicación personal, 9 de septiembre de 2021).

En la tabla 1 se muestra un resumen de las características de las tres centrales que operan en la Argentina.

²⁹ Es el combustible ya irradiado que debe ser reemplazado. Se mide en base a la energía obtenida de una carga de combustible al finalizar su vida útil y la masa inicial de esa carga. Suele expresarse en megavatios eléctricos-día (MWd) generados por tonelada de combustible gastado (Foro Nuclear, s/f).

Tabla 1. Características de las centrales nucleares argentinas

	Central Nuclear Atucha I	Central Nuclear Atucha II	Central Nuclear Embalse
Tipo de reactor	Recipiente de presión Siemens	Recipiente de presión Siemens	Tubos de presión CANDU
Potencia térmica	1179 MW	2175 MW	2064 MW
Potencia eléctrica bruta/neta	362 / 340 MWe	745 / 692 MWe	656 / 608 MWe
Moderador refrigerante	Agua pesada (D ₂ O)	Agua pesada (D ₂ O)	Agua pesada (D ₂ O)
Combustible	Uranio levemente enriquecido (0,85 %)	Uranio natural	Uranio natural
Generador de vapor	Dos verticales, tubos en «U» Incolloy 800	Dos verticales, tubos en «U» Incolloy 800	Cuatro verticales, tubos en «U» Incolloy 800
Turbina	Una etapa de alta presión, tres etapas de baja presión. Velocidad: 3000 rpm	Una etapa de alta presión, dos etapas de baja presión. Velocidad: 1500 rpm	Una etapa de alta presión, tres etapas de baja presión. Velocidad: 1500 rpm
Generador eléctrico	Dos polos tensión 21 Kv, 50 Hz	Cuatro polos tensión 21 Kv, 50 Hz	Cuatro polos tensión 22 Kv, 50 Hz

Fuente: NA-SA (2019)

3.3.5 Otras actividades de NA-SA

Además de la operación de las tres centrales, NA-SA colabora con la CNEA en la obra civil de la construcción del reactor CAREM. Asimismo, está involucrada en el desarrollo de los proyectos de Almacenamiento en Seco

de Elementos Combustibles Quemados de las centrales Atucha I y II. Estos proyectos serán tratados en la segunda parte del trabajo.

La Unidad de Gestión de Proyectos Nucleares, que era la encargada de la gestión de los proyectos de nuevas centrales, fue desarticulada durante el gobierno de Mauricio Macri, que en 2018 decidió reformular el proyecto de construcción de nuevas centrales nucleares, y excluyó el reactor de tecnología tipo CANDU de uranio natural y agua pesada. Esta decisión sería revisada por la Asamblea Extraordinaria de Accionistas, en junio de 2021, con el fin de preservar la tecnología nacional para las centrales nucleares de potencia de uranio natural y agua pesada, que anuló la cancelación del proyecto y lo recuperó en el marco del Plan Nuclear de 2006. Resulta clave el hecho de que esta decisión producirá un efecto multiplicador, tanto en la industria como en la economía argentina con la consolidación de las capacidades de proveedores nacionales existentes, así como también la potenciación del desarrollo de nuevos proveedores argentinos. En este sentido, el Lic. Sidelnik agrega:

Con Atucha II NA-SA llegó a la adultez. Primero, el hecho de que el diseñador y constructor, que era Siemens-KWU, había desaparecido, y supuestamente la empresa que la continuó, AREVA,³⁰ no quiso asumir la responsabilidad de terminar Atucha II. Se tomó la decisión de que la terminábamos nosotros. Entonces, se crea una unidad de gestión para la terminación de Atucha II. En el transcurso se pone en marcha el Plan Nuclear 2006, que plantea crear dos centrales más. Se dicta la Ley 26.566, que encarga a NA-SA construir

30 El grupo Areva es un conglomerado multinacional francés, líder mundial en el sector de la energía nuclear, creado en 2001 a partir de la fusión que se acordó el 30 de noviembre de 2000 de las empresas francesas CEA-Industrie, Cogema, Framatome ANP y FCI. Con la adquisición de parte del negocio de energía nuclear de la empresa alemana Siemens, Areva se convirtió en el mayor proveedor integral para soluciones y servicios de energías nucleares.

nuevas centrales nucleares y operar las existentes. Entonces, ya teníamos dos actividades: la construcción y la operación.

Con el gobierno de Mauricio Macri se quiso cambiar la situación y que NA-SA fuera nada más que operadora. Ahí se pierde una de las centrales proyectadas, la central de agua pesada y uranio natural en la línea de lo que se venía haciendo, semejante a la de Embalse, de tipo CANDU. Íbamos a hacer un CANDU propio, ya que parte de lo que teníamos que hacer en esa época era extender la vida de la central de Embalse para que operara 30 años más. Esto se hace entre 2016 y 2018, y en 2019 se vuelve a poner Embalse operativa.

Se iban a construir dos centrales nucleares más. Una de uranio enriquecido tipo Hualong,³¹ con financiamiento chino y una réplica mejorada de la central de agua pesada y uranio natural. Atucha III sería igual a Embalse, para darle continuidad a todo el sector, no solo nuclear sino el desarrollo de PYMES que habíamos creado. Y después venía la central china de PWR, es decir, de uranio enriquecido y agua liviana. En la Asamblea de Accionistas de 2018 «matan» la línea de uranio natural y agua pesada, es decir, se discontinúa toda esa línea perjudicando a todo el sector, y al mismo tiempo deciden que continúen las negociaciones con China. Esas negociaciones nunca llegaron a buen término. En ese momento, el rol de NA-SA volvió a ser solo operativo para gestionar las tres centrales. En 2020 retomamos la actividad en los dos aspectos: operar y diseñar y construir. Y el Plan Estratégico 2021-2030 refleja esa acción (J. Sidelnik, comunicación personal, 9 de septiembre de 2021).

31 El Hualong One es un reactor nuclear chino de agua a presión de generación III desarrollado por el Grupo General de Energía Nuclear de China y la Corporación Nuclear Nacional de China. La versión CGN, y su versión de exportación derivada, se llama HPR1000.

3.4 Hitos importantes en la historia de NA-SA

La trayectoria de NA-SA tuvo, a nuestro criterio, dos hitos o momentos fundamentales en lo relativo a la adquisición y el desarrollo de sus capacidades tecnológicas, además del impacto de estos hechos en el desarrollo del sector nuclear en particular y del país en general. Analizaremos brevemente estos hechos en los siguientes apartados.

3.4.1 La victoria de la perseverancia: la finalización de Atucha II

Hasta 2005, NA-SA era una empresa operadora de dos centrales y se encargaba de la conservación del predio, materiales y equipos para la central Atucha II, cuya obra se hallaba paralizada. En 2006, el gobierno de Néstor Kirchner decide terminar Atucha II, lo cual significaba un gran desafío. Había que finalizar una obra que se hallaba abandonada desde 1994 y, al mismo tiempo, el grupo de personas que habían intervenido en los inicios de la construcción en julio de 1981 se había disuelto. Además, el diseñador y constructor, Siemens-KWU, había desaparecido. El principal inconveniente era que esa línea de reactores no había tenido éxito comercial y solo existían dos en el mundo con las mismas características y en funcionamiento, que eran Atucha I y Atucha II. El presidente de NA-SA, el Ing. José Luis Antúnez, en un reportaje realizado en 2013, aclara por qué razón la Argentina decide terminar la central por su cuenta y no buscar otro diseñador:

Nucleoeléctrica ya había explorado ese camino con anterioridad. Consultó a dos o tres de los más prestigiosos diseñadores de centrales nucleares del mundo, pero la respuesta fue negativa. Y no precisamente por mala voluntad. El otro productor mundial de reactores de uranio natural ha seguido otra línea, totalmente distinta, que es la de nuestra central Embalse. Y los productores

de centrales de uranio enriquecido no deseaban asumir un proceso que les era desconocido.

Lo que hizo NA-SA fue reconstruir el grupo humano. Para ello, reclutamos a todos aquellos que trabajaron en etapas anteriores del Plan Nuclear Argentino y en centrales de potencia, y los incentivamos a trabajar en la finalización de esta obra. Encontramos un grupo importante dispuesto a hacerlo y, por supuesto, muchos otros que se habían dedicado a otra cosa. Eso lo complementamos con la incorporación de jóvenes graduados. Por otro lado, teníamos que completar y modificar el diseño. Para ello, negociamos con Siemens-KWU, el diseñador original, que nos traspasara la propiedad intelectual para hacer las modificaciones necesarias. Esto llevó un largo proceso de negociación, pero culminó con éxito en julio de 2006, fecha que consideramos como el arranque del proyecto (Antúnez, cit. en U-238, 2013).

En 2005, NA-SA creó la Unidad de Gestión Central Nuclear Atucha II con la finalidad de completar el proyecto de la central. Posteriormente se le ampliarían los objetivos, ya que se agregaría el proyecto de construcción de una cuarta central. Por esa razón, la Unidad cambiaría de nombre para denominarse Unidad de Gestión Central Nuclear Atucha II-Cuarta Central Nuclear.

Sobre la construcción de Atucha II y la participación de recursos humanos y tecnología nacional, el Ing. Antúnez aclara lo siguiente:

El trabajo ha incluido la utilización de alrededor de 30.000 m³ de hormigón, más de 3000 km de cable eléctrico y montado de 40.000 tn de materiales y equipos, que incluyen 4000 tn de cañerías de alta especificación. Para realizar las cañerías, se realizaron 700.000 soldaduras. El proyecto incluye, además, un millón de puntos de conexión eléctrica y de instrumentos. Esto significó

alrededor de 43 millones de horas hombre de trabajo, de las cuales, el 98 % es de origen nacional. O sea, este proyecto se ha completado con trabajo, tecnología y ciencia argentinos (Antúnez, cit. en U-238, 2013).

En 2011 ya se habían concluido las obras de montaje y se iniciaron las pruebas de los 566 subsistemas de la central. Durante las tareas de relanzamiento de los trabajos, más de un 85 % del presupuesto de las actividades se destinó a la adquisición de bienes y servicios nacionales, para ello se convocaron a la mayoría de las empresas de ingeniería más importantes del país. Asimismo, se requirió la participación de universidades argentinas y un importante esfuerzo de capacitación tanto para sus operarios como para el personal externo contratado. Estas acciones ponen de manifiesto otra materialización del «triángulo de Sábato-Botana» (Zappino, 2021).

Entre enero y marzo de 2013, se cargó el combustible en el reactor, se realizó la primera prueba en caliente y la limpieza de todos los sistemas. Finalmente, el 3 de junio de 2014, Atucha II alcanzó su primera criticidad.

En términos cuantitativos, Atucha II aporta alrededor del 4 % de la energía eléctrica anual del país, lo que lleva al sector nuclear a generar alrededor del 10 % de la energía eléctrica anual. Antes de la puesta en marcha de Atucha II, el aporte de NA-SA a la matriz energética era del 7 %. En lo que respecta al desarrollo tecnológico aportado por la terminación y puesta en marcha de la central, dos técnicos del Complejo Nuclear Atucha nos aclaran:

Lo más importante fue el desarrollo del conocimiento. Nos encontramos con la situación de tener que reiniciar esa obra, para lo cual teníamos algunos documentos básicos de diseño para consultas técnicas. Entonces, se desarrolló un personal propio, se lo capacitó en ese tema con técnicos, algunos de ellos eran expersonal de KWU. Y con esto nos hacíamos cargo de lo que

faltaba. Para que sea posible, fue importante el buen almacenamiento que habíamos hecho de los componentes que llevaban guardados más de diez años. Se armaron carpas enormes con atmósfera controlada y temperatura adecuada, a tal punto fueron bien conservados que, cuando llegaron algunos expertos para verificar el estado de los componentes para instalarlos, dijeron que parecían recién comprados. Esto significó un gran esfuerzo por parte del personal de NA-SA. Para la reactivación de la obra hubo que tomar una gran cantidad de personal. El problema era que mucho personal que estaba en el momento inicial de la construcción de Atucha II ya estaba cerca de la jubilación. Entonces, se contrató personal más joven para realizar una transferencia de conocimiento. Igual, hubo un salto generacional.

El proyecto implicó un fuerte impacto en la economía local, demandó una gran cantidad de mano de obra, desde la más básica (montaje o albañilería) hasta a la más capacitada (con posgrados y cursos), abarcando así todo el espectro de los recursos humanos. Hubo un pico de 6000 personas, más la mano de obra indirecta. Caso no existía gente capacitada para trabajar en el mercado local. Muchos eran extranjeros, y se habían ido. Hubo que traer mano de obra, por ejemplo, del interior del país. Además, se generaba trabajo en forma indirecta, porque la gente que vino del interior, vivía y consumía en Lima. Por otro lado, a esas 6000 personas había que vestir las, transportarlas, darles el alimento, etc. (Personal técnico del Complejo Nuclear Atucha I-II, comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

Respecto del aporte de la industria nacional a la construcción de la central, se utilizaron muchos componentes nacionales; por ejemplo, el edificio y la grúa del edificio de turbinas las realizó IMPSA.³² Otros componentes no

32 Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A. es una empresa industrial de soluciones integrales para la generación de energía. Fue fundada como Talleres Metalúrgicos en 1907 en Mendoza, Argentina. En la actualidad, se destaca por ser una de las empresas multinacionales latinoamericanas de mayor tamaño. En 2014, se declaró en concurso de acreedores. Después del rescate, el gobierno provincial defendió la estatalización de

nucleares también fueron provistos por proveedores nacionales. Los dos técnicos de NA-SA amplían al respecto:

Algunos componentes grandes no son nacionales, pero las bombas son de KSB,³³ que tiene representación en Argentina. Esto también es mano de obra local.

La parte nuclear requiere cierta calificación y era más difícil desarrollarla acá, porque existen normas internacionales. Además, para mantener el diseño, se usaron, por ejemplo, componentes de Andritz,³⁴ la vasija del moderador vino de afuera. La vasija del reactor también vino de afuera porque está hecho de una sola pieza, y en ese momento había un solo horno capaz de fabricarla y estaba en Japón. Todo lo que era mano de obra de construcción, soldadura, etc. se contrató en Argentina. Tuvimos un problema con los componentes que no requieren seguridad nuclear, los componentes secundarios. Muchos de los fabricantes originales, después de tantos años y con Alemania retirándose del negocio nuclear, se reformularon o desaparecieron. Con algunos, pudimos conseguir determinados componentes, pero para otros, hubo que buscar alternativas. Algunas de ellas se buscaron en el mercado nacional. Muchas válvulas de la planta son argentinas. Son toneladas de cañerías que tiene la planta. Otro ejemplo, el tratamiento de desmineralización del agua es todo nacional, los tanques, las válvulas, etc. A todos esos proveedores se les hizo transferencia de tecnología para que pudieran cumplir con los requerimientos de los componentes que se les encargaban. Para algunas empresas nacionales

IMPSA como única solución para asegurar el futuro de la empresa. En junio de 2021, IMPSA se convirtió en una empresa pública luego de recibir un total de 20 millones de dólares: 14,4, del gobierno federal y el resto de la provincia de Mendoza, a cambio de una participación del 63,7 % y del 21,2 %, respectivamente en la empresa.

33 El Grupo KSB es uno de los principales productores de bombas y válvulas de origen alemán. Está presente en la Argentina desde 1941.

34 Andritz AG es un grupo tecnológico internacional que ofrece plantas, equipos, sistemas y servicios para diversas industrias. La sede se encuentra en Graz, Austria.

quizá era muy costoso certificar normas internacionales frente a la cantidad que podían llegar a vender, para otras no. NA-SA ayudo a muchas de ellas en el proceso de certificación; por ejemplo, Electroingeniería³⁵ es una empresa nacional, que después de Atucha II, quedó calificada en soldadura nuclear (Personal técnico del Complejo Nuclear Atucha I-II, comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

Finalmente, se puede asegurar que con la construcción de Atucha II, la Argentina demostró que es capaz de afrontar el desafío que implica la construcción de un reactor de potencia.

3.4.2 La extensión de vida de Embalse

La extensión de vida de la Central Nuclear Embalse comenzó en 2007 con los estudios de envejecimiento de los sistemas y de factibilidad. La central cumplió su primer ciclo operativo el 31 de diciembre de 2015. En 2016, luego de 30 años de operación, salió del sistema por haber cumplido su vida útil. A partir de allí pasó por varias etapas hasta 2019, año en el que la central se puso a crítico³⁶ nuevamente. Todo el proyecto fue realizado por equipos de ingenieros/as de NA-SA.

Las principales actividades que se ejecutaron son el cambio de los tubos de presión, los generadores de vapor y las computadoras de proceso. El proyecto provocó un impacto muy grande en el desarrollo de proveedores nacionales de bienes y servicios altamente calificados. En este sentido,

³⁵ Electroingeniería S.A. es una empresa dedicada a la ingeniería, la construcción, la operación y el mantenimiento de grandes obras y servicios electromecánicos, civiles, de arquitectura, viales, de saneamiento, de conducción de fluidos y otras especialidades asociadas. Fundada en 1977. Es la empresa originaria y cabeza del Grupo Eling S.A.

³⁶ Término utilizado en física de reactores para describir la condición existente en la que el número de neutrones producidos por la fisión coincide con el número de neutrones absorbidos (por materiales fisibles y no fisibles) y fugados del reactor. Un reactor es, por tanto, crítico cuando se establece en él una reacción nuclear en cadena automantenida (Foro Nuclear, s/f).

participaron 116 empresas, de las cuales 90 eran nacionales (muchas de ellas de la provincia de Córdoba) y el resto eran empresas extranjeras de diversos países, como Alemania, Países Bajos, Austria, Suecia, Brasil, Suiza, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Italia y México.

Un desarrollo de las actividades realizadas en este proyecto es descrito por el Lic. Marcos Carbonell, de la central Embalse:

La planta había sido diseñada originalmente por AECL de Canadá, con una vida útil de 25 años a plena potencia. Técnicamente eso no es posible porque cada 18 meses tiene paradas programadas de mantenimiento. Entonces, se descuentan uno o dos meses por cada parada y el período finalmente se extiende a 30 años. Había dos opciones: ejecutar el proyecto de extensión de vida o parar la planta y desmantelarla, como se ha hecho en Alemania, Rusia, Estados Unidos, Gran Bretaña, entre otros. En 2009 se aprueba el proyecto y, con este aval y los estudios previos de factibilidad, en enero de 2015 se inició el trabajo, que finalizó en enero de 2019 cuando se pone nuevamente a «crítico» el reactor.

Entre las tareas más críticas, la principal fue el reentubado del reactor. El reactor tiene un recipiente en posición horizontal (a diferencia de Atucha I y II que es vertical) que contiene 380 tubos. En cada tubo se colocan 12 elementos combustibles, conformando los 4560 de la masa crítica del reactor. Con el tiempo, esos tubos sufren un fenómeno de fatiga del material y se estiran debido a la radiación. Llega un momento en el que ya no se puede mantener la horizontalidad. Entonces, cada tubo era extraído y triturado por una máquina, se colocaban dentro de un blindaje de la misma máquina y se depositaban en un silo de cemento, llamado *canister*, que es mucho más grande que los silos de elementos combustibles quemados.

Otra tarea consistió en cambiar los cuatro generadores de vapor. El edificio de Embalse es un cilindro de hormigón y no estaba preparado para extraer estos componentes, que tienen más de 15 m de altura y pesan más de 100 tn. Para ello se contrató una empresa de Países Bajos, llamada Mammoet,³⁷ que realizó una ingeniería para montar los equipos, donde hubo que remover interferencias como cañerías, pasarelas, etc. Con esos equipos se pudo tomar los cartuchos de los generadores de vapor, se cortaron los cabezales, se extrajo el cartucho con maniobras milimétricas, utilizando grúas especiales, se retiraron por la exclusiva principal y se colocaron en una especie de sarcófago. Con un proceso inverso, se pusieron los nuevos cartuchos construidos por IMPSA. Este trabajo, que nunca se había pensado originalmente en un reactor CANDU, fue una innovación totalmente nacional.

También se refaccionó la pileta de elementos combustibles gastados, con buzos especialistas de los Estados Unidos que ingresaban con una máquina y un traje especial y que trabajaron a metros de donde estaban los elementos combustibles. La central quedó prácticamente cero kilómetro para operar por otro ciclo de 30 años.

Estos procesos fueron los más importantes del área controlada radiológicamente. También se hicieron reparaciones en el área convencional, como los componentes de la sala de control, se cambiaron los cuatro motores diésel de emergencia, que eran motores FIAT originales de la empresa Italmimpianti. Estos cuatro motores fueron cambiados por cuatro bloques Caterpillar de más capacidad para tener mayor autonomía. Se amplió el depósito de diésel para alimentar estos motores. Se hizo un nuevo edificio, EPS (*Emergency Power System*) como complemento en caso de emergencia. Y también se realizó todo un banco de baterías. Estas son todas las alternativas

³⁷ Mammoet es una empresa privada de los Países Bajos que se especializa en levantar objetos pesados y transportar objetos pesados y de gran tamaño (Foro Nuclear, s/f).

que tiene Embalse para no quedarse sin energía. De afuera viene una línea de alimentación de 132 KW, y se agregan los cuatro motores diésel, el banco de baterías y el EPS. Todas esas barreras redundantes permiten que la planta opere continuamente.

Vale aclarar que cuando se construyó la planta, ASL tuvo a su cargo toda la parte nuclear. La parte convencional, turbinas, condensador, motores diésel fue realizada por Italmimpianti y Ansaldo. La turbina es Ansaldo.³⁸ Es una turbina de cuatro etapas: una de alta presión, donde el vapor ingresa aproximadamente a 42 kg/cm², el eje principal gira a 3500 rpm, arrastrando las tres etapas restantes de baja presión. Una vez que el vapor ingresa por la primera etapa, es extraído por unos separadores de humedad para que vuelva a ingresar a las etapas de baja presión. Una vez que hace todo el trabajo en la turbina, desciende el fluido por el condensador. La central toma agua del Embalse del Río Tercero y la devuelve. Para esto, el agua caliente del condensador es trasladada por un canal de salida de hormigón a cielo abierto que tiene 7 km. de extensión para que se vaya enfriando y no altere las condiciones naturales del lago. Atucha I y II son diferentes porque se aprovecha una caída en una barranca y va directamente al río Paraná. Allí, como el agua corre constantemente, un kilómetro aguas abajo ese calor ya se disipó. Se agregó, además, un quinto precalentador en la turbina, para darle mayor caudal. Se rebobinó todo el generador eléctrico. Se cambiaron dos etapas de baja presión. Se acondicionó el condensador. Esto lo manejó todo Ansaldo en conjunto con personal de NA-SA. Este trabajo también implicó recalcular la situación sísmica de las estructuras

38 Ansaldo Energía S.p.A. es una empresa italiana de ingeniería eléctrica. Tiene su sede en Génova, Italia. La empresa matriz absorbida, Gio. Ansaldo & C., se inició en 1853. Fue absorbida por Leonardo S.p.A. En 2011, Leonardo S.p.A. vendió el 45% de las acciones de Ansaldo Energía a First Reserve Corporation. (Más información disponible en <https://www.ansaldoenergia.com>).

y cañerías, se ajustaron a valores más actuales. El EPS se implementó a raíz del accidente de Fukushima.³⁹

Participaron de la obra más de 4500 trabajadores, entre personal de NA-SA y contratistas nacionales e internacionales. En su momento fue la obra pública que más trabajo generó en el país. Se movilizó mucho el área de influencia local, la parte inmobiliaria, comercial. Es decir, tuvo un gran impacto social. Luego de la extensión de vida, Embalse, que producía una potencia eléctrica bruta de 648 MW, pasó a generar 656 MW (M. Carbonell, central nuclear Embalse, comunicación personal, 25 de noviembre de 2021).

Estas acciones tienen un impacto notable en el desarrollo nacional, dado que permiten aportar energía en forma segura y confiable para más de tres millones de habitantes, diversificar la matriz energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, producir mayores cantidades de Cobalto 60 para abastecer el mercado interno en aplicaciones medicinales e industriales, y para exportar y asegurar la fuente de trabajo para más de 1000 familias durante los próximos 30 años. La inversión total de la obra fue de USD 2140 millones (NA-SA, 2021). Por último, en este proyecto, la CNEA fue convocada para hacerse cargo de diversas tareas.⁴⁰

39 El accidente nuclear de Fukushima I comenzó en la central nuclear Fukushima I el 11 de marzo de 2011 después de un terremoto de magnitud 9, que además provocó un tsunami en la costa noreste de Japón.

40 Los principales trabajos fueron la fabricación y la validación de los componentes sensibles del núcleo del reactor (el corazón de la instalación), y la realización de ensayos de materiales para combustibles y otras partes sensibles en condiciones de presión y temperatura exactamente iguales a las que se presentan en el reactor. En forma paralela, dos empresas vinculadas a la CNEA fueron acreditadas por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) para el diseño, la construcción, la inspección y las pruebas para recipientes de presión. Se trata de Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR S.A.) y Fábrica Aleaciones Especiales S.A. (FAE S.A.), que en 2012 lograron las máximas certificaciones para convertirse en proveedores de componentes para reactores CANDU. (Más información disponible en <https://www.argentina.gob.ar/CNEA/destacados/trabajos-de-cnea-para-la-central-nuclear-embalse>).

3.5 NA-SA y el medio ambiente

NA-SA se adhirió al Pacto Global de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en marzo de 2019 y fue admitida como miembro el 16 de mayo del mismo año. Esta adhesión implicó el compromiso con el desarrollo de políticas y estrategias para el apoyo y la promoción de los principios universalmente aceptados en materia de derechos humanos, normas laborales, ambiente y lucha contra la corrupción. Puntualmente, el uso de la energía nuclear contribuye de manera directa a 13 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS),⁴¹ entre los que destaca la oportunidad que ofrece para garantizar el acceso a energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. La energía generada en 2020 permitió ahorrar la emisión de aproximadamente 6.597.976 tn de CO₂. Esto equivale a las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por más de 1.400.000 autos o utilitarios conducidos durante un año (NA-SA, 2019).

⁴¹ Los ODS pueden consultarse en <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

A modo de conclusión

A partir del desarrollo histórico del sector nuclear en la Argentina, desde la creación de la CNEA en 1950, se pueden apreciar momentos que contienen diversas claves que explican la continuidad de los intereses del sector en el marco de contextos de alta inestabilidad institucional, persistencia que tuvo sus frutos en los diferentes logros analizados en el capítulo 2, incluidos los objetivos de lograr la capacidad necesaria para la generación de energía eléctrica mediante la energía nuclear.

En este sentido, numerosos trabajos dan cuenta de esta situación, entre los cuales podemos citar dos. Por un lado, Lugones (2020) analiza la intersección entre la política nuclear y la política energética entre los años sesenta y ochenta. En esta época, la CNEA desarrolla una política de construcción de centrales nucleares aptas para la generación de energía eléctrica. Esto llevó a que la Argentina alcanzara el dominio del ciclo del combustible como forma de lograr el autoabastecimiento para las centrales. La conclusión de Lugones, y que nosotros compartimos, es que el desarrollo del programa nucleoelectrónico fue posible gracias a que la CNEA articuló sus intereses con los intereses energéticos. De esta manera, se pudo legitimar el Plan Nuclear. No obstante, esto fue así hasta la década de los ochenta, cuando el cuestionamiento de este Plan determinó que esos intereses se desacoplen.

En el mismo sentido, Hurtado (2014) plantea que la cultura nuclear contiene rasgos que se transformaron en una especie de «código genético» del sector. Estos rasgos, según el autor, serían la orientación industrialista y autonomista y la valoración del papel estratégico del Estado heredados del peronismo. En este sentido, puede hablarse, en términos del concepto de «autonomía enraizada» para caracterizar la organización de los que Evans

(1996) llama «estados desarrollistas», por ejemplo, el Estado coreano de la década de los ochenta. Para países como la Argentina, donde este proceso tiene desviaciones, Evans habla de «bolsones de eficiencia» dentro del Estado, que proporcionan la base de proyectos exitosos de transformación sectorial. A partir de allí, Hurtado analiza el caso del sector nuclear y llega a la conclusión de que podría considerarse un ejemplo de ese «bolsón de eficiencia», ya que potenció su autonomía con la capacidad de concretar conexiones con otros ámbitos (en este caso, el energético) y que, durante la primera mitad de los años sesenta, se trata de un caso de autonomía en proceso creciente de enraizamiento. Esta situación posicionó al sector nuclear como un antídoto frente a las debilidades institucionales y organizacionales características de los Estados periféricos. Sin embargo, este impulso encontraría sus límites, como también afirma Lugones (2020), en los años ochenta, debido a las restricciones presupuestarias y la precariedad de la capacidad de maniobra del Estado con el giro hacia políticas neoliberales.

El conocimiento de punta lo tuvo y lo tiene la CNEA. Sobre la manera en que este conocimiento se transfiere a las empresas del sector, existe toda una tradición de sinergia que lo lleva adelante. En este sentido, se puede decir que la misma plasticidad de empresas, como NA-SA, Conuar, Dioxitek, etc., para adaptarse a los diferentes contextos es parte del ADN del sector nuclear.

Cada nación debe elegir su matriz energética en función de la disponibilidad de fuentes primarias. Y la diversificación es una de las mejores alternativas que apunta a romper el monopolio exclusivo de un determinado combustible para la generación de energía. En la Argentina, la principal fuente son los combustibles fósiles, cada vez más caros y generadores de una dependencia de las importaciones. En esa matriz, la tendencia se dirige a aumentar la generación nuclear. En este contexto, NA-SA se hace cargo de una actividad

que antes realizaba la CNEA, que hasta ese momento había acumulado más de 40 años de experiencia en reactores nucleares, tanto de investigación como de potencia.

De esta manera, podemos decir que las capacidades de NA-SA son herederas del proceso detallado en el capítulo 2, proceso que involucra más de siete décadas de desarrollo, investigación e innovaciones de la CNEA. En efecto, dominar la energía implicaba no depender de terceros para realizar los propios planes de desarrollo. Justamente es por esa razón que la generación de energía eléctrica en la Argentina está a cargo de una empresa pública.

En la segunda parte de este trabajo describiremos el aporte que realiza NA-SA al sistema de generación eléctrica del país y analizaremos algunos aspectos financieros y de capital humano de la empresa. Además, dedicaremos algunos apartados a los proyectos futuros en los que está involucrada la empresa. Finalmente, desarrollaremos los principales conceptos y las características que, a nuestro entender, convierten a NA-SA en un actor fundamental del desarrollo nuclear en la Argentina.

Referencias bibliográficas

- Almagro, J. C., Perazzo, R. y Sidelnik, J. (2017). *Crónica de una reparación (im)posible. El incidente de 1988 de la C. N. Atucha I*. Disponible en: <https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/LibrosDigitales/Cronica-de-una-reparacion-im-posible-Libro.pdf>
- Azpiazu, D. y Schorr, M. (2010). *Hecho en Argentina: industria y economía, 1976-2007*. Siglo XXI Editores.
- Calabrese, C. (1997). Sobre política nuclear (un poco de historia, significados y propuestas). <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/10261/1/sobre-politica-nuclear-poco.pdf>
- Campoy, M., Cuesta, R. y Barreiro, M. (2020). Concepto de la defensa en profundidad y ejemplo específico de aplicación en las centrales nucleares españolas. *Nuclear España*. Disponible en: <https://www.revistanuclear.es/seguridad/concepto-de-la-defensa-en-profundidad-y-ejemplo-especifico-de-aplicacion-en-las-centrales-nucleares-espanolas/>
- Evans, P. (1996). El Estado como problema y como solución. *Desarrollo Económico*, 35 (140), 529-562.
- Foro nuclear. (s/f). “Glosario de términos”, Foro de la energía nuclear en España. Disponible en: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/>
- Galvele, J. (2009). Jorge A. Sábato, creador de la metalurgia en CNEA. ¿Cómo se hace para crear un laboratorio de excelencia? Instituto Sábato, CNEA, UNSAM. <https://www.isabato.edu.ar/wp-content/uploads/2016/09/Sabato-Creador-de-la-Metalurgia-en-CNEA.pdf>
- Galvele, J., Martínez Vidal, C., Wortman, O., Torres Sánchez, J. y Sábato, H. (1998). Sábato en CNEA. Instituto Sábato, CNEA, UNSAM.
- Hurtado, D. (2014). *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología y desarrollo nacional (1945-2006)*. Edhasa.
- Hurtado, D. (2009). Periferia y fronteras tecnológicas: energía nuclear y dictadura militar en la Argentina (1976-1983). <https://www.redalyc.org/pdf/924/92415269003.pdf>

- Lugones, M. (2018). Política nuclear y democracia en un contexto de reforma estructural. La cancelación del programa nucleoelectrico durante el gobierno de Alfonsín. En D. Aguiar, Lugones, M., Quiroga, J. M. y Aristimuño, F. (comps.). *Políticas de ciencia, tecnología e innovación en la Argentina de la pos dictadura*. Editorial UNRN.
- Lugones, M. (2020). Política nuclear y política energética en la Argentina. El Programa Nucleoelectrico de la CNEA (1965-1985) [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Quilmes. <http://ridaa.unq.edu.ar>
- NA-SA (2019). Comunicación de progreso. Pacto Mundial. Reporte integrado de Nucleoelectrica Argentina S.A. Documento provisto por la empresa al autor.
- NA-SA (2021). Plan Estratégico 2021-2030. Documento provisto por la empresa al autor.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (s/f). “Las salvaguardias de OIEA”. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/las-salvaguardias-del-oiea-nociones-basicas>
- Petrescu, F. I., Apicella, A., Petrescu, R. V., Kozaitis, S., Bucinell, R., Aversa, R. y Abu-Lebdeh, T. (2016). Environmental Protection through Nuclear Energy. *American Journal of Applied Sciences*, 13 (9), 941-946.
- Rincón educativo. (s/f). “Glosario nuclear”, Foro de la energía nuclear en España. Disponible en: https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario_nuclear.html
- Rodríguez, M. R. (2021a). Los albores del Plan Nuclear Argentino en la «era atómica». Algunos elementos de análisis (1950-1976). En C. Belini y Jáuregui, A. *Desafíos a la innovación. Intervención del Estado e industrialización en la Argentina (1930-2001)*.
- Rodríguez, M. R. (2021b). En busca de la autonomía tecnológica. La trayectoria de la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A., 1980-1996. *América Latina en la Historia Económica*, 28 (1), 1-22. <https://doi.org/10.18232/alhe.1097>
- Rodríguez, M. R. (2021c). El rol de las empresas privadas en la encrucijada tecnológica nuclear. Una mirada comparativa de los casos argentino y español (1950-1974). <http://alhe.mora.edu.mx/index.php/ALHE/articulo/view/1097>
- Sábato, J. (12-16 de octubre de 1983). *Propuesta de política y organización en ciencia y tecnología*. Centro de Participación Política de la UCR, Encuentro Nacional de Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Buenos Aires, Argentina, pp. 39-45.

Schvarzer, J. (1998). *Implantación de un modelo económico: la experiencia argentina entre 1975 y el 2000*. AZ editora.

U-238 (2013). “Reportaje a José Luis Antúnez”, U-238, 1(5). Disponible en: <https://u-238.com.ar/entrevista-jose-luis-antunez-presidente-de-nucleoelectrica/>

Zappino, J. (2021). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo I. Algunos elementos conceptuales. *Cuadernos del INAP*, 2 (75). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/article/view/255>

CUINAP | Argentina, Cuadernos del INAP

Año 3 - N.º 84 - 2022

Instituto Nacional de la Administración Pública

Av. Roque Sáenz Peña 511, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

CP: C1035AAA - Tel.: 4343 9001 - Correo electrónico: cuinap@jefatura.gob.ar

ISSN 2683-9644

Editor responsable

Mauro E. Solano

Coordinación editorial

Pablo Nemiña

Edición y corrección

Laura Scisciani

Arte de tapa

Roxana Pierri

Federico Cannone

Diseño y diagramación

Edwin Mac Donald

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autoras/es y no comprometen la posición oficial del INAP.

INAP no asume responsabilidad por la continuidad o exactitud de los URL de páginas web externas o de terceros referidas en esta publicación y no garantiza que el contenido de esas páginas web sea, o continúe siendo, exacta o apropiada.

El uso del lenguaje inclusivo y no sexista implica un cambio cultural que se enmarca en un objetivo de la actual gestión de Gobierno y se sustenta en la normativa vigente en materia de género, diversidad y derechos humanos en la Argentina. En esta publicación se utilizan diferentes estrategias para no caer en prejuicios y estereotipos que promueven la desigualdad, la exclusión o la discriminación de colectivos, personas o grupos.



Los Cuadernos del INAP y su contenido se brindan bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Argentina. Es posible copiar, comunicar y distribuir públicamente su contenido siempre que se cite a las/os autoras/es individuales y el nombre de esta publicación, así como la institución editorial. El contenido de los Cuadernos del INAP no puede utilizarse con fines comerciales.

Esta publicación se encuentra disponible en forma libre y gratuita en: publicaciones.inap.gob.ar

Marzo 2022

Secretaría de
Gestión y Empleo Público



Jefatura de
Gabinete de Ministros
Argentina