

# El sector nuclear argentino: los casos de INVAP S.E., Nucleoeléctrica Argentina S.A., Dioxitek S.A. y CONUAR S.A.

Por Jorge Salvador Zappino\*

## Resumen

A lo largo de la historia de las naciones desarrolladas, el crecimiento económico fue el resultado de factores como la intervención focalizada de los Estados y la puesta en marcha de políticas públicas que fomentaban la creación de sectores estratégicos. En la Argentina, existen varios ejemplos de empresas públicas o con participación mayoritaria del Estado que cuentan con potencialidades de integración nacional, de generación de demanda en sectores estratégicos, de creación de numerosos puestos de trabajo y un estímulo innovador que se trasladó a buena parte del entramado productivo.

En esta línea de pensamiento, presentamos el análisis de cuatro empresas del sector nuclear (tres públicas y una mixta) con participación del Estado nacional: INVAP S.E., Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA), Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. En este sentido, la pregunta que nos hacemos es qué relevancia poseen estas empresas para el sector nuclear en particular y para el desarrollo argentino en general.

El objetivo, entonces, es identificar aquellos paradigmas y factores que permitieron que se crearan y desarrollaran empresas públicas y mixtas de estas características en el país, con énfasis en la inversión pública en desarrollo y conocimiento, y en los instrumentos que posee el Estado para el cumplimiento de esa inversión; entre ellos, el poder de compra utilizado para incentivar la producción de tecnología en un área estratégica como el sector nuclear.

---

\* 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.

zappinoj@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5521-2578>

## **Palabras clave**

Argentina, empresas públicas, desarrollo nuclear.

## **Abstract**

Throughout the history of developed nations, economic growth was the result of factors such as the focused intervention of national States and the implementation of public policies that encouraged the creation of strategic sectors. In Argentina there are several examples of public companies or public-private joint ventures, that have the potential for national integration, for generating demand in strategic sectors, for creating new jobs and for providing an innovative stimulus to a large part of the productive network. From this perspective, this article analyses four companies (three public and one mixed): INVAP S.E., Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA), Dioxitek S.A. and CONUAR S.A., asking how relevant they are for the development of the nuclear sector, and for the country's development at large. The main purpose is to identify those paradigms and factors associated, in Argentina, with the creation and development of public and mixed companies of this sort. Special emphasis is placed on public investment in development and knowledge, and on State instruments used to promote such investments, among them, its purchasing power to encourage the production of technology in the strategic nuclear sector.

## **Key words**

Argentina, public enterprises, nuclear development.

## **1. Introducción**

En las naciones desarrolladas, el crecimiento económico fue el resultado de factores como la intervención focalizada de los Estados y la puesta en marcha de políticas públicas que fomentaban la creación de sectores estratégicos. Y, muchas veces, fueron las empresas públicas las que traccionaron ese desarrollo.

En la Argentina, existen varios ejemplos de empresas públicas o con participación mayoritaria del Estado nacional como Yacimientos Petrolíferos Fiscales S.A. (YPF), Astillero Río Santiago, Trenes Argentinos, INVAP S.E., Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA), Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR) y Dioxitek S.A. Estas empresas cuentan con potencialidades de integración nacional, de generación de demanda en sectores estratégicos, de creación de numerosos puestos de trabajo y un estímulo innovador que se trasladó a buena parte del entramado productivo.

Cuando se profundiza en el estudio de la segunda mitad del siglo XX, se encuentran varias experiencias de desarrollos e innovaciones producto de inversiones en tecnologías intensivas en conocimiento; por ejemplo, en aeronáutica, energía nuclear, biotecnología, siderúrgica y, en los últimos años, en los desarrollos aeroespaciales. El análisis de estas experiencias es imprescindible para evaluar las posibilidades de producir esas tecnologías intensivas de conocimiento en el país en contextos no siempre favorables. Más importante aún es que esas capacidades locales no fueron utilizadas solo por empresas del sector privado, sino también por empresas del sector público.

En esta línea de pensamiento, presentamos un trabajo de análisis de cuatro casos de empresas (tres públicas y una mixta) con participación del Estado nacional, todas ellas del sector nuclear: INVAP S.E., NA-SA, Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. (empresa mixta conformada por la Comisión Nacional de Energía Atómica [CNEA] y el Grupo Pérez Companc)<sup>1</sup>.

La pregunta que nos hacemos es qué relevancia poseen INVAP, NA-SA, Dioxitek y CONUAR para el sector nuclear en particular y para el desarrollo argentino en general. Como respuesta a este interrogante, consideramos que las cuatro empresas son importantes debido a los siguientes aspectos: se trata de empresas públicas o con participación estatal que operan en segmentos de alta tecnología a nivel mundial, producen para el mercado local y exportan gran parte de sus productos y servicios. A su vez, generan integración tanto horizontal

---

<sup>1</sup> Este artículo es un resumen de seis trabajos individuales sobre el sector nuclear publicados en los *Cuadernos del INAP (CUINAP)* entre 2021 y 2022 (Zappino, 2021a; 2021b; 2022a; 2022b; 2022c; 2022d).

como vertical en la cadena de valor nuclear, lo que posibilita el encadenamiento productivo al configurar y participar en grandes redes de proveedores locales e internacionales. Además, producen transferencia de tecnologías que se multiplican a través de otras cadenas de valor, lo que, a su vez, genera nuevos productos para el mercado local e internacional. En resumen, configuran el mejor ejemplo de intervenciones focalizadas del Estado y la puesta en marcha de políticas públicas que fomentan la creación de sectores estratégicos; realizaron y realizan un uso amplio e intensivo de las capacidades endógenas al acumular nuevos conocimientos basados en la resolución de problemas; y estimulan la investigación y la innovación (I+D), la promoción de la educación y el empleo calificado. En suma, contribuyen a acelerar el camino hacia un desarrollo económico y social sustentable e inclusivo.

El objetivo de este trabajo es, entonces, identificar aquellos paradigmas y factores que permitieron que se crearan y desarrollaran empresas públicas y mixtas de estas características en la Argentina, con énfasis en la inversión pública en desarrollo y conocimiento, y en los instrumentos que posee el Estado para el cumplimiento de esos objetivos; entre ellos, el poder de compra utilizado para incentivar la producción de tecnología en un área estratégica como el sector nuclear.

## **2. El caso INVAP S.E.**

La empresa INVAP, ubicada en la ciudad de San Carlos de Bariloche, es una sociedad del Estado propiedad de la provincia de Río Negro. Las principales actividades se centran en las siguientes áreas: nuclear; industrial y energías alternativas; servicios de integración tecnológica (SIT) (incluye sistemas médicos y TV digital); aeroespacial y Gobierno; defensa; seguridad y ambiente<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> En este artículo centraremos el análisis en el desarrollo del área nuclear.

## **2.1 Un breve recorrido por la historia de INVAP**

### **2.1.1 Período 1972-1975. Creación del Programa de Investigación Aplicada**

Esta etapa se enmarca en la segunda etapa de industrialización por sustitución de importaciones (ISI) que se desarrolló en la Argentina entre la década del cuarenta y la primera mitad de la década del setenta. En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, nuestro país comenzó su desarrollo nuclear. En 1950 se creó la CNEA y en 1955 el Instituto de Física en el Centro Atómico Bariloche (CAB), que actualmente se denomina Instituto Balseiro.

En este contexto, en 1958 se construyó el primer reactor nuclear de experimentación pionero en América Latina. Este logro fue posible debido a las políticas públicas del sector plasmadas en los sucesivos planes nucleares. A partir de estos, comenzó la construcción de las centrales nucleoelectricas, la fabricación de combustibles nucleares y la producción de radioisótopos, hechos que marcaron hitos fundamentales del sector nuclear argentino.

En 1972, el doctor Conrado Varotto, junto con científicos del CAB, creó el Programa de Investigación Aplicada (PIA). Resulta importante destacar el factor que significaba la necesidad de impulsar una industria tecnológica nacional para abastecer las demandas del sector nuclear. Uno de los principales objetivos del PIA era combinar la experiencia de la CNEA y las capacidades adquiridas en el CAB, con el fin de profundizar el desarrollo de tecnologías en el sector industrial<sup>3</sup>.

### **2.1.2 Período 1976-1984. Creación de INVAP S.E. y primeros proyectos vinculados al área nuclear**

Este período coincidió con el accionar de la dictadura militar de 1976-1983, cuya política económica tuvo un fuerte sentido aperturista y produjo un retroceso del Estado como eje de desarrollo de la economía nacional. Sin embargo, el Gobierno

---

<sup>3</sup> El trabajo pionero del PIA incluyó líneas de productos tecnológicos, como procesos metalúrgicos, materiales semiconductores, productos derivados del carbono y materiales creados a partir de haces de partículas.

militar consideró que el sector nuclear era estratégico. En este contexto —y como una continuación del PIA—, el 1 de septiembre de 1976 surgió INVAP Sociedad del Estado, conformada a partir de un acuerdo entre la CNEA y la provincia de Río Negro, en el cual esta última era propietaria del 100 % del paquete accionario y la Comisión se reservaba el control del directorio<sup>4</sup>. De esta manera, la etapa anterior derivó en la conveniencia de crear una empresa que se sustentara exclusivamente con los ingresos generados por desarrollos tecnológicos como soluciones a los problemas planteados por los clientes.

Durante la primera etapa, el accionar de INVAP estuvo estrechamente vinculado a la CNEA, que absorbía casi la totalidad de la capacidad de producción. En ese momento, uno de los principales objetivos era conseguir la tecnología del enriquecimiento de uranio a través del proceso de difusión gaseosa y para ese propósito la CNEA contrató al INVAP en 1978. Lograr esta tecnología era fundamental, ya que, si INVAP comenzaba a exportar reactores de investigación, debía asegurar a los clientes el suministro de los combustibles necesarios en los contratos por firmar.

El primer problema en este aspecto comenzó con los dos reactores para Perú. En el caso del RP-0 no hubo inconvenientes, ya que utilizaba los combustibles del reactor RA-0 de la Universidad Nacional de Córdoba. Pero el RP-10 requería combustible producido en Alemania. En este caso, se logró que el combustible viajara desde ese país directo a Perú.

Hasta ese momento, la Argentina había utilizado centrales de potencia de uranio natural, la CNA I y la CNE, pero todo fue más difícil con los reactores de investigación, lo que llevó a la necesidad de conseguir el ciclo completo del combustible en forma local. El método más accesible, aunque no el más moderno, era por difusión gaseosa. Los primeros trabajos se iniciaron en 1975 en el CAB. El hito culminante se alcanzó en 1981, cuando se logró medir de manera inequívoca la primera concentración isotópica de uranio 235 (<sup>235</sup>U) (enriquecido) mayor que la concentración natural del 0,72 %. Todo ello debió realizarse en absoluta reserva,

---

<sup>4</sup> Los decretos de creación de INVAP son el 546/1976, que autoriza la creación de una Empresa del Estado; el 661/1976, que designa al primer Directorio; el 141/1977, que declara a la empresa «de interés provincial»; y el 280/1977, por el cual la empresa se acoge a la Ley provincial 502 de Promoción Económica.

con el fin de evitar las presiones internacionales de suspenderlo. Como resultado de estos trabajos, se construyeron las plantas en Pilcaniyeu, Río Negro<sup>5</sup>.

De esta manera, se iniciaba el camino que llevaría al dominio completo del ciclo del combustible con el desarrollo de tecnologías como la de obtención de esponja de circonio<sup>6</sup>. En forma paralela, la empresa adquiriría experiencia en el diseño de reactores nucleares de investigación, hecho que tendría importantes repercusiones en los años siguientes.

En 1978, la CNEA le propuso a INVAP construir un reactor de investigación para el CAB, el RA-6, que incluía la producción de ciclo completo (el diseño, la construcción, la puesta en funcionamiento y la operación). Este hecho se convertirá en un hecho fundamental en la historia de la empresa, ya que permitió adquirir el conocimiento para el diseño, la dirección de obra y la puesta en operación de reactores nucleares de investigación, tareas que en las próximas etapas se constituirían en una de las principales líneas de negocios de INVAP<sup>7</sup>.

### **2.1.3 Período 1985-1991. Proyección internacional de las actividades nucleares, proyectos industriales y sistemas médicos**

La segunda etapa de vida de INVAP comienza a mediados de los años ochenta, en el contexto del abandono del Plan Nuclear por parte del Gobierno nacional. Hacia

---

<sup>5</sup> El anuncio público del éxito del proyecto se realizó el 18 de noviembre de 1983. En 1987 se produjo la visita a la planta en construcción de los entonces presidentes Raúl Alfonsín (Argentina) y José Sarney (Brasil), en el marco de las negociaciones para la constitución del Mercado Común del Sur (MERCOSUR) y la finalización de la competencia tecnológica, económica y política entre ambos países. Este evento, poco después, daría origen a la constitución del sistema de salvaguardias recíprocas a través de la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC). Las visitas de los presidentes a las instalaciones nucleares estatales constituyeron una muestra de confianza mutua que contribuyó con la gestación del MERCOSUR.

<sup>6</sup> Materia prima para la producción de aleaciones utilizadas en la fabricación de las vainas de los elementos combustibles (EECC) de los reactores de potencia.

<sup>7</sup> Para más detalles de la historia de los reactores de investigación en la Argentina, consultar De Dicco (2013).

finis de esta década, la hiperinflación y el estallido social de 1989 jaquearon al Gobierno radical y llevaron al poder al peronismo de la mano de Carlos Menem, quien puso en marcha un proceso de apertura y desregulación económica alineado a la política internacional estadounidense. Como consecuencia de esto, en 1991 se suspendieron todos los contratos con Irán, lo que afectó de manera profunda la operatoria de INVAP<sup>8</sup>.

En estos años se alcanzó el máximo rendimiento de la planta de enriquecimiento de uranio y se pasó del desarrollo a la etapa industrial con el objetivo de exportar reactores nucleares. No obstante, ante los cambios a nivel mundial producidos por la caída del bloque soviético y el final de la Guerra Fría, el mercado de uranio enriquecido se liberalizó, lo que llevó a la paralización momentánea del proyecto.

La experiencia acumulada con el diseño y la instalación del reactor vendido a Perú fue aprovechada por el INVAP para iniciar contactos con otros países. Entre 1985 y 1989, se puso en marcha la venta de un reactor de investigación similar al RA-6 y una planta de radioisótopos al Gobierno de Argelia que fue entregado en 1989, mientras que la planta para investigación y desarrollo de elementos combustibles (EECC) avanzó normalmente hasta 1990, año en que fue suspendida debido a problemas de seguridad interna de la Nación africana. Sin embargo, INVAP retomó el proyecto a un ritmo menor hasta concluirlo. Mientras tanto, se vendieron equipos para combustibles nucleares a India y Rumania, además de un horno para sinterización<sup>9</sup> de óxido de uranio a Turquía.

Hacia fines de los ochenta, debido a las dificultades suscitadas por la reducción del programa de inversiones de la CNEA, INVAP ingresó en un período de crisis que lo llevó a una reducción del personal y a un plan de tercerizaciones que se

---

<sup>8</sup> En ese momento se creó de la Comisión Nacional de Control de las Exportaciones Sensitivas y Material Bélico, la cual prohibió la venta a Irán de material producido por INVAP.

<sup>9</sup> La sinterización es un ciclo térmico consistente en calentar la pieza compactada durante un tiempo determinado a una temperatura inferior al punto de fusión del metal base. La elevada temperatura provoca la soldadura de las partículas de polvo entre sí y la difusión de los elementos aleantes, mediante un mecanismo de difusión en estado sólido. La sinterización se realiza en hornos continuos, a velocidad controlada, y en atmósfera con composición química controlada (<https://ames-sintering.com/es/proceso-de-sinterizado/#:~:text=SINTERIZACI%C3%93N,de%20fusi%C3%B3n%20del%20metal%20base>).



manifestó en la creación de cuatro empresas contratistas integradas por ex empleados/as. De ellas, la única que sobrevivió hasta nuestros días es INVAP Ingeniería S.A. (IISA)<sup>10</sup>. Un hito fundamental de esta etapa es la participación del INVAP en la reparación de la CNA I en 1988 (Almagro *et al.*, 2017).

El proceso de aprendizaje mediante capacidades internas comenzó a reemplazarse por el «aprendizaje por compra» (*learning by buying*), también se adquirió una gran experiencia en negociación de contratos internacionales, de participación en licitaciones y de organización de operaciones en el extranjero. Estos profundos cambios complejizaron la estructura gerencial mediante la profesionalización de las funciones y la creación de una estructura administrativa y comercial más importante, de manera que la empresa quedó con una configuración de tipo matricial.

#### **2.1.4 Período 1992-2005. Crisis y oportunidades: la consolidación del sector nuclear y los comienzos de las actividades espaciales**

Durante estos años, en la Argentina, funcionó un modelo económico basado en una sostenida desregulación, una amplia apertura del comercio exterior, numerosas privatizaciones y, como consecuencia de esto último, la retirada del Estado del ámbito productivo y de servicios.

Esta etapa de INVAP se caracteriza por una menor vinculación en proyectos conjuntos con la CNEA como cliente y por dos hechos principales: un contrato con Egipto para el diseño, la construcción y la instalación de un reactor nuclear y un fuerte impulso en el área aeroespacial que había dado sus primeros pasos en la etapa anterior.

En 1993, INVAP se presentó a una licitación para un reactor en Tailandia, la cual fue ganada por General Atomic (EE. UU.). Cuando finalmente fue adjudicado en

---

<sup>10</sup> De las tres empresas restantes, dos fueron cerradas y la otra fue reabsorbida por INVAP. IISA se constituyó como un desprendimiento de las áreas de ingeniería, construcciones mecánicas y montaje, que posee el 51 % de las acciones, mientras que el 49 % se encuentra distribuido entre sus empleadas/os. Esta empresa opera como proveedora de componentes de INVAP para sus áreas nuclear y aeroespacial. Además, desarrolla equipos, montajes de plantas y servicio industriales principalmente para la industria petrolera (Kozulj y Lugones, 2007).

1997, estalló la crisis financiera del Sudeste Asiático y la obra fue paralizada. En 1994, la empresa también participó en la tarea de reparación de reactores en la CNA I. Para llevarla adelante se construyó una máquina denominada REMA con la que se repararon los intercambiadores del moderador. Vale aclarar que se trataba de un equipo automático que debía trabajar en un ambiente de elevada radiactividad.

En 2002, INVAP realizó otra tarea en la CNE, al efectuar el recambio de las placas separadoras de los generadores de vapor, con el consentimiento y la supervisión de los fabricantes de esos componentes. Asimismo, la empresa continuó con el desarrollo de su red internacional de proveedores, con énfasis en la dinámica de *learning by buying* (aprender comprando), lo cual disminuyó la integración de insumos producidos localmente.

### **2.1.5 Período 2006-2020. Salida definitiva al mundo: la consolidación del sector espacial y del sector de comunicaciones**

La crisis de 2001 produjo un cambio profundo que afectó fuertemente al sector nuclear, que se encontraba casi paralizado desde mediados de los años noventa. En 2006, el entonces presidente Néstor Kirchner reimpulsó nuevamente el desarrollo nuclear mediante la Ley 26.566. Sus principales objetivos eran finalizar la construcción de la CNA II, iniciada en 1980 y paralizada desde 1994; construir una cuarta central nuclear; extender la vida útil de la CNA I y la CNE; 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 Neuquén y reanudar el proyecto de enriquecimiento de uranio. En este contexto, INVAP cumpliría un papel relevante al participar activamente en cada uno de esos proyectos.

Con el cambio de gobierno en diciembre de 2015 disminuyó sensiblemente la inversión estatal en ciencia y tecnología y el apoyo estatal a la industria nacional, lo que afectó a INVAP ya que sufrió la cancelación de numerosos contratos de bienes tecnológicos que se encontraban en etapa de ejecución.

Sin embargo, la empresa completó la puesta en marcha de la planta de producción de radioisótopos (Radioisotope Production Facility [RPF]), facilidad asociada al

reactor ETRR-2 construido por la empresa en el transcurso de las etapas anteriores en Inshas (Egipto). Asimismo, realizó la ingeniería y los primeros avances para la construcción del reactor de investigación de baja potencia LPRR para la organización King Abdulaziz City for Science and Technology, en Arabia Saudita.

Dos de los proyectos más importantes en el exterior de esta etapa son el reactor OPAL en Australia (2006) y el reactor PALLAS en Países Bajos (2018). Respecto del primero, en 1998 la Organización Australiana de Ciencia y Tecnología Nuclear (ANSTO), llamó a una precalificación de empresas internacionales para construir un nuevo reactor de 20 MW para investigación científica y producción de radioisótopos. INVAP estuvo entre los cuatro precalificados junto con otras tres empresas, entre ellas, la alemana Siemens. El contrato establecía una participación considerable de empresas australianas, por eso, la empresa realizó acuerdos con una importante constructora de ese país para la obra civil, y otros acuerdos para la provisión de sistemas convencionales (no nucleares) y el montaje.

A principios de 2018, INVAP ganó una licitación internacional para un reactor nuclear de investigación y producción de radioisótopos para usos medicinales en los Países Bajos, denominado Reactor PALLAS, con el cual la empresa ingresó, por primera vez, en el competitivo mercado nuclear europeo. La primera fase del proyecto consiste en el diseño del reactor, la obtención de la licencia y la aplicación formal de la licencia de construcción. La segunda fase incluye el diseño detallado, la administración de la construcción, el suministro de equipos y componentes, la obtención de la licencia operacional, la instalación del sistema, y las pruebas para su posterior implementación y operación. INVAP proporcionará todos los suministros necesarios para operar la planta futura, así como la capacitación técnica de los operadores<sup>11</sup>.

En cuanto a las centrales nucleares argentinas, la empresa llevó a cabo diversos servicios y equipamiento para la CNE, la CNA I y la CNA II. Al mismo tiempo, participa del proyecto del reactor CAREM-25, primer reactor nuclear de potencia íntegramente diseñado y construido en la Argentina, lo cual sitúa a INVAP como uno de los líderes mundiales en el segmento de reactores modulares de baja y media potencia<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Para más información, ingresar a [www.invap.com.ar](http://www.invap.com.ar)

<sup>12</sup> El prototipo se está construyendo en Lima, provincia de Buenos Aires, y será capaz de generar 32 MW.

## 2.2 Estado, innovación, tecnología y desarrollo en INVAP

El tema de la innovación es recurrente en los análisis que se hacen sobre INVAP. En el seno de la empresa, existen diferentes formas de innovación, que son los proyectos y los productos que necesitan de tecnología compleja y el diseño de prototipos o un proceso innovador hecho a la medida del cliente.

En INVAP consideran que la cultura innovadora se traspasa de persona a persona de manera informal, durante el proceso de inducción y en los diversos proyectos que se realizan en los que el trabajo en equipo es el recurso que promueve la creatividad.

La cuestión de las ventajas competitivas de INVAP resulta clave al momento de entender la importancia de la empresa para el desarrollo nacional. En ese sentido, Porter (1979) define cinco fuerzas que componen un modelo de análisis de la competitividad, a saber: 1. la amenaza de nuevos concursantes; 2. el poder de negociación de los proveedores; 3. el poder de negociación de los clientes; 4. la amenaza de productos sustitutos; y 5. la intensidad de la rivalidad entre firmas competidoras.

Respecto de la primera, INVAP no tiene, en el mercado local, competidores, dadas las barreras que significan la limitada disponibilidad de personas altamente capacitadas en el rubro y la propia experiencia del trabajo de la empresa, que la convierten en un referente tecnológico. Además, la escala de los trabajos realizados representa una alta inversión y capacitación para cualquier nueva empresa que pretenda competir en los rubros donde se ubica INVAP.

En lo referente al poder de negociación de los proveedores, los complejos insumos tecnológicos que utiliza INVAP hacen que muy pocos puedan cumplir con los estándares de calidad requeridos (Seijo y Cantero, 2012). En este sentido, los proveedores locales —la mayoría pymes— tienen su origen en las necesidades

---

En el mismo proyecto, la CNEA avanza en el diseño conceptual del módulo comercial del CAREM, el cual tendrá una potencia mayor (de entre 100 y 120 MW) y sería la base de una central multireactor que permitirá alcanzar costos muy competitivos para el mercado internacional (<https://www.argentina.gob.ar/cnea/carem>)

de cumplimiento de contratos que surgen de INVAP, el cual crea los prototipos y, a la vez, los capacita para que alcancen esos estándares.

En relación con el poder de negociación de los clientes, la empresa no posee muchos y el principal es el Estado nacional. En este caso, el poder de negociación es determinante ya que, muchas veces, los objetivos económicos quedan relegados en importancia frente a los sociales o estratégicos. La tecnología en cuestión no tiene sustitutos o son tan complejos que pocas empresas pueden proveerlos.

En cuanto a la quinta fuerza, INVAP no tiene casi competidores locales. Sin embargo, es distinta la situación en el mercado externo, en donde la competencia depende del rubro. Y en el caso del rubro nuclear existen muchos competidores, pero esta situación se halla compensada por el prestigio de los trabajos de INVAP en el exterior.

De acuerdo con el recorrido histórico, esta empresa desarrolló su actuación principal en dos sectores de alta complejidad e intensivos en conocimiento: la construcción de reactores nucleares de investigación, y el diseño y la construcción de satélites de diverso tipo. De esta manera, se convirtió en una de las pocas empresas a nivel mundial que los realiza. Además, la trayectoria de INVAP muestra un proceso de mejora sostenida en el tiempo, una producción diversificada de proyectos complejos a la medida del cliente y la incorporación permanente de contenido científico-técnico (Thomas *et al.*, 2013).

Otra de las características dominantes en la trayectoria de INVAP es la constitución de un modelo transversal para producir conocimiento aplicado. En efecto, las diferentes especializaciones de su personal técnico son flexibles y orientadas a productos concretos. Es decir, INVAP no necesita contratar personal especializado para cada proyecto que emprende, sino que las/os mismas/os profesionales se ponen al frente de los diferentes desafíos que surgen. Esta práctica hace posible que los aprendizajes de un área se crucen con los de otra y que los resultados se apliquen en todas ellas sin importar cuál ha sido el origen de ese conocimiento adquirido.

Los sectores de producción de INVAP surgieron y se alimentaron de otras anteriores. Por caso, el área de medicina surgió a partir del área nuclear en la

década de los ochenta; el área industrial se apoyó en lo realizado para un proyecto de planta de procesos químicos; de los desarrollos en instrumentos electrónicos para los reactores surgen los satélites; de los satélites, los radares, y de estos, las tecnologías en comunicaciones. En resumen, los desarrollos de un sector conducen permanentemente a la reutilización de lo aprendido para llevar adelante proyectos de otra.

Otra de las características principales de INVAP reside en que su accionar está orientado a generar productos a medida de los clientes. Su misma historia está marcada fuertemente por esta dinámica. El hecho de producir reactores nucleares de investigación y satélites, entre otros productos, convierte la actividad de la empresa en la generación continua de proyectos complejos e intensivos en conocimiento llevados a cabo en series cortas y, generalmente, de ejemplar único. Esa diferencia con una empresa de producción en serie estandarizada se convirtió, a lo largo del tiempo, en una ventaja competitiva frente a empresas de mayor tamaño del mismo rubro.

Esta dinámica es denominada por las/os directivas/os de la empresa como *problem solver*, que consiste en la solución de los problemas como enfoque de aproximación al cliente, en donde como estrategia se utiliza un abordaje horizontal de las distintas disciplinas abocadas a él. Un recurso ampliamente utilizado en este aspecto es el manejo de la incertidumbre, por el cual los equipos de profesionales de la empresa encaran los proyectos con el objetivo de solucionar necesidades hasta ese momento desconocidas.

El uso inteligente del poder de compra consiste en contar con un plan a largo plazo e incentivos. El Estado tiene un rol indelegable en aquello que hace a la construcción de ciertas áreas de necesidades permanentes. No es el mercado el que lidera, sino el que sigue. Al contrario de lo que suele pensarse, Estados Unidos constituye un caso paradigmático del uso de las compras públicas como impulso al desarrollo local (Mazzucato, 2014). El desarrollo de INVAP no es ajeno a este proceso ya que, desde sus orígenes, la empresa se dedicó al desarrollo de proyectos vinculados a las necesidades de la CNEA para sus requerimientos en el área del desarrollo nuclear.

Durante muchos años, INVAP fue parte, únicamente, de la cadena de valor nuclear, puesto que sus principales desarrollos eran para clientes de ese sector, especialmente la CNEA. Sin embargo, en las últimas décadas, la empresa fue diversificando su producción y, por lo tanto, su vinculación con diferentes clientes y proveedores, y desarrolló, entre otros productos, radares, satélites e insumos médicos.

### **3. El caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA)**

NA-SA es la empresa que se encuentra a cargo de la operación de las tres centrales nucleares instaladas en el país: CNA I, CNA II y CNE. 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 %)<sup>13</sup>. 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 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 CNE.

NA-SA surge como resultado de las transformaciones estructurales realizadas en la década de 1990, cuando 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 esta división se creó la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), mientras que la CNEA retendría las funciones de formación de recursos humanos, investigación y desarrollo. En este contexto, el 7 de septiembre de 1994 se creó NA-SA con las funciones detalladas anteriormente.

---

<sup>13</sup> 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) que luego, en noviembre de 2017, fue modificado por el actual (<https://www.ieasa.com.ar>).

## 3.1 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.

### 3.1.1 CNA 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 ( $UO_2$ )<sup>14</sup> 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. Debido a modificaciones en su combustible, desde 2001 emplea uranio levemente enriquecido (ULE) al 0,85 %. Su actual potencia bruta es de 362 MWe (a partir de 2012).

El funcionamiento de CNA 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 ( $CO_2$ ) producido por una central térmica de igual potencia. Por último, CNA I posee un elevado factor de disponibilidad, y luego de realizada su extensión de vida, podrá operar con un factor de carga<sup>15</sup> del orden del 80 % anual.

---

<sup>14</sup> El dióxido de uranio ( $UO_2$ ) es un polvo negro, radiactivo y cristalino que aparece naturalmente en el mineral de uraninita (<https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/etapas-para-la-obtencion-del-combustible-nuclear-a-partir-del-uranio/>).

<sup>15</sup> 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



### 3.1.2 CNE

Se encuentra situada en la ribera sur del Embalse de Río Tercero, Córdoba. Su reactor es de tipo CANDU (*Canadian deuterium uranium*)<sup>16</sup>, de agua pesada presurizada (PHWR), de 648 MWe brutos de potencia eléctrica. Pertenece al tipo de centrales de tubos de presión, cuyo combustible es el uranio natural, mientras 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 cadena de producción del isótopo cobalto 60 (<sup>60</sup>Co) 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. 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.

### 2.1.3 CNA II

Se encuentra ubicada en la localidad de Lima, Buenos Aires, adyacente a la CNA 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 estuvo paralizada entre 1994 y 2006, hasta el relanzamiento del Plan Nuclear Argentino. El reinicio de la obra representó la recuperación de técnicas/os y profesionales especializadas/os, lo que significó recobrar las capacidades nacionales para el gerenciamiento de la construcción de centrales nucleares de potencia.

---

los equipos. Es un indicador de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo ([https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/factor-de-carga/#:~:text=Relaci%C3%B3n%20en%20tanto%20por%20ciento,per%C3%ADodo%20\(potencia%20nominal%20x%20t\).](https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/factor-de-carga/#:~:text=Relaci%C3%B3n%20en%20tanto%20por%20ciento,per%C3%ADodo%20(potencia%20nominal%20x%20t).))

<sup>16</sup> CANDU significa «Canadá deuterio uranio», es decir, un reactor de uranio natural y agua pesada como moderador.

El 3 de junio de 2014 alcanzó su primera criticidad y, en 2015, llegó al 100 % de su potencia. Con su entrada en funcionamiento comercial, el turbogruppo de la CNA II se convirtió en la máquina de mayor potencia unitaria del SADI, posición que antes ocupaba la CNE.

### **3.2 El combustible de las centrales nucleares**

Un tema importante en la operatoria de las centrales, en el desarrollo tecnológico del sector nuclear en particular y en el 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 más adelante, pero vale la pena introducir algunos conceptos fundamentales.

La Argentina forma parte del selecto grupo de doce naciones<sup>17</sup> 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 (EC) 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 ARN, la legislación nacional vigente para la actividad nuclear y los compromisos internacionales asumidos por el país en cuanto a la seguridad y el uso pacífico de la tecnología nuclear.

Además de la operación de las tres centrales, NA-SA colabora con la CNEA en la obra civil de la construcción del reactor CAREM-25. Asimismo, está involucrada en el desarrollo de los proyectos de almacenamiento en seco de elementos combustibles quemados de la CNA I y la CNA II.

---

<sup>17</sup> Los demás países son: Estados Unidos, Reino Unido, Federación de Rusia, Francia, China, Alemania, Pakistán, Corea del Norte, Japón, India y Brasil.

### **3.3 Hitos importantes en la historia de NA-SA**

La trayectoria de NA-SA tuvo 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.

#### **3.3.1 La finalización de la CNA II**

Hasta 2005, NA-SA era una empresa operadora de dos centrales y se encargaba de la conservación del predio, los materiales y los equipos para la CNA II, cuya obra se hallaba paralizada. En 2006, el Gobierno de Néstor Kirchner decidió terminarla, 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, la empresa que se encargó de diseñarla y construirla, Siemens-KWU, había desaparecido del mercado. 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 la CNA I y la CNA II.

Para este proyecto, NA-SA creó la Unidad de Gestión CNA II. 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 CNA II-Cuarta Central Nuclear.

El trabajo incluyó la utilización de alrededor de 30.000 m<sup>3</sup> 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-persona de trabajo, de las cuales el 98 % es de origen nacional.

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 del 85 % del presupuesto de las actividades se destinó a la adquisición de bienes y servicios nacionales, para ello, se convocó 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/os como para el personal externo contratado. Estas acciones ponen de manifiesto otra materialización del «triángulo de Sábato-Botana»<sup>18</sup>.

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, la CNA II alcanzó su primera criticidad.

En términos cuantitativos, la CNA 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.

Respecto del aporte de la industria nacional a la construcción de la central, se utilizaron numerosos componentes nacionales; por ejemplo, el edificio y la grúa del edificio de turbinas las realizó Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A. (IMPESA)<sup>19</sup>. Otros componentes no nucleares también fueron provistos por proveedores nacionales.

---

<sup>18</sup> «Jorge A. Sábato, en conjunto con Natalio Botana, en 1968 representaron gráficamente, mediante un triángulo, un modelo que propone la integración de tres polos clave para el desarrollo económico, tecnológico y social de la región. Esto es la estructura científico-tecnológica, el gobierno y el sector productivo. Este trabajo y una larga trayectoria desarrollando proyectos e investigaciones convierten a Sábato en uno de los autores más relevantes en lo que ha dado en llamarse el Pensamiento Latinoamericano en Ciencia, Tecnología y Desarrollo» (<https://www.uncuyo.edu.ar/desarrollo/la-vinculacion-una-herramienta-para-el-desarrollo-tecnologico-autonomo#:~:text=Sabato%20en%20conjunto%20con%20Natalio,gobierno%20y%20el%20sector%20productivo>).

<sup>19</sup> 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 defendía la estatalización de IMPESA como única solución para asegurar el futuro de la empresa. En junio de 2021, 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.

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

### **3.3.2 La extensión de vida de la CNE**

La extensión de vida de la CNE 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 para comenzar su proyecto de extensión de vida, el cual fue realizado íntegramente por personal de NA-SA. En 2019, la central se puso a crítico nuevamente y reingresó al sistema.

Las principales actividades que se ejecutaron fueron el cambio de los tubos de presión, de los generadores de vapor y de 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, 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.

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  $^{60}\text{Co}$  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 (Nucleoeléctrica Argentina S.A., 2021).

### **3.4 Los aportes de NA-SA a la generación de nucleoelectricidad**

A partir de la operación de las tres centrales nucleares argentinas, CNA I, CNA II y CNE, NA-SA realiza un importante aporte de energía al SIN<sup>20</sup>.

En el período 2011-2020, la generación nuclear total anual se mantuvo comprendida entre los 5257,7 GWh (2014) —año en que comenzó a funcionar la CNA II y la CNE se encontraba con horas operativas reducidas debido al Proyecto Extensión de Vida (PEV)— y los 10.010,9 GWh (2020). Este último fue el récord anual histórico que puede explicarse, fundamentalmente, por la alta disponibilidad anual tanto de la CNA I como de la CNE. Debe mencionarse, además, que las centrales nucleares suelen presentar paradas programadas cuya duración es de entre tres y cuatro semanas normalmente, al menos una vez al año. Antes de la puesta en marcha de la CNA II, la generación de NA-SA era producto de la operación de la CNA I y de la CNE, con un mayor aporte de esta última entre 2001 y 2013. En 2009, NA-SA generó un total de 7588,7 MWh, pico superado en 2016 y 2020, luego de la incorporación de la CNA II al sistema. Durante el período 2016-2018, se llevó a cabo el PEV de la CNE, razón por la que la central salió del sistema durante esos años. Sin embargo, la generación total se mantuvo gracias a la entrada de la CNA II.

El porcentaje de la demanda local cubierto por NA-SA fluctuó entre un máximo del 7,86 % en 2020 y un mínimo del 4,16 % en 2014, lo que demuestra que, aunque todavía pequeña frente a lo aportado por las fuentes térmicas e hidráulicas, la importancia de la generación eléctrica mediante la energía nuclear es cada vez mayor.

### **3.5 Estado, tecnología y desarrollo en NA-SA**

A continuación, resumiremos dos características principales de NA-SA en lo referente a su contribución al desarrollo económico.

Las funciones principales de NA-SA son la operación de las tres centrales nucleares argentinas y el gerenciamiento de proyectos para la construcción de futuras centrales nucleares. Y es en este punto donde se puede identificar un

---

<sup>20</sup> La información de este apartado proviene de CNEA (2021) y NA-SA (2019; 2021).

aporte sustancial al desarrollo económico. En efecto, la construcción y puesta en marcha de la CNA II involucró numerosos proyectos para los que se utilizó una gran cantidad de insumos locales; situación que, además de la dinamización de esos sectores industriales, trajo aparejada una dinámica de transferencia de tecnología a diferentes proveedores locales. Únicamente en el caso de que los requerimientos no podían satisfacerse dentro del mercado nacional, NA-SA recurrió a proveedores del exterior que tuvieran la experiencia necesaria para cumplir con las características tecnológicas. También se siguió el mismo procedimiento para la extensión de vida de la CNE.

Por otra parte, la finalización de la CNA II implicó la reconstrucción de los equipos de profesionales mediante la recuperación de aquellos que ya habían trabajado en él en las primeras etapas, pero también en la contratación y capacitación de numerosas/os jóvenes profesionales que fueran capaces de asumir el desafío. En la construcción de la tercera central también hubo desarrollo del conocimiento, ya que esto se hizo personal perteneciente a NA-SA, el cual fue capacitado por personal técnico (parte de este había trabajado para Siemens-KWU). Se contrató, además, mano de obra de otras provincias y con ello también se dinamizó la economía local.

En este sentido, se puede decir que las centrales nucleares son centros de investigación y capacitación, ya que, más allá de la energía que se produce, gran parte del personal se ha capacitado en su operación. Por ende, los planteles técnicos formados en el sector nuclear son permanentemente requeridos en numerosas industrias.

#### **4. El ciclo del combustible nuclear**

El ciclo del combustible nuclear es el conjunto de operaciones que conlleva la producción del combustible utilizado por las centrales nucleares. Incluye, además, el tratamiento del combustible gastado durante la operación de estas.

Para producir el proceso de fisión nuclear, toda central nuclear necesita de los EECC. Estas tienen como objetivo la generación de energía eléctrica y, por lo tanto,

son denominadas como «centrales nucleoelectricas». Los EECC son conjuntos de vainas<sup>21</sup> que contienen uranio y que, al ser colocadas en el núcleo del reactor y bombardeadas con neutrones, provocan la fisión nuclear<sup>22</sup>. Esta fisión produce el calor necesario para calentar el agua y formar el vapor requerido para accionar las turbinas que, como consecuencia, generarán la energía eléctrica.

El ciclo transcurre en cinco fases, a saber:

- FASE 1. PROSPECCIÓN Y EXTRACCIÓN: mediante técnicas geológicas de cateo, se determinan las zonas en donde es posible extraer uranio mediante la trituración de la roca. Actualmente, esta fase no se realiza en la Argentina y el concentrado de uranio se importa de Kazajistán.
- FASE 2. CONVERSIÓN: consiste en la transformación de la roca de uranio a dióxido de uranio mediante un proceso químico cuyo producto final es el polvo de dióxido de uranio de pureza nuclear grado cerámico (UO<sub>2</sub>). Tanto esta fase como la importación del concentrado de uranio están a cargo de la empresa Dioxitek S.A.
- FASE 3. FABRICACIÓN DE LOS EECC: el polvo de dióxido de uranio es prensado y sinterizado para su conversión en pastillas cerámicas que luego serán colocadas en vainas para formar varillas de combustible. Esta fase está a cargo de la empresa CONUAR.
- FASE 4. UTILIZACIÓN Y RECARGA DE LOS EECC: las varillas de combustible se introducen dentro del núcleo de un reactor de potencia, en donde

---

<sup>21</sup> Las vainas (componente estructural) son tubos, de algo más de 10 mm de diámetro, construidos con una aleación de zircaloy.

<sup>22</sup> La fisión nuclear es la división del 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. Al fisionar un núcleo impactado por un neutrón, se liberan otros neutrones que impactan en otros núcleos para producir nuevas fisiones. La energía que a nivel molecular liberan los explosivos clásicos 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 electronvoltios ([https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario\\_nuclear.html](https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario_nuclear.html)).



se produce el proceso de fisión. Esto genera una reacción en cadena que produce calor, calienta el agua y forma el vapor que moverá una turbina conectada a un generador y, así, se producirá la energía eléctrica. El recambio de combustible es de tipo continuo, mediante máquinas especiales. Esta fase se encuentra a cargo de NA-SA.

- FASE 5. GESTIÓN DE LOS EECC QUEMADOS: una vez irradiados (proceso denominado «quemado») los EECC se llevan a piletas de enfriamiento y luego a un almacenamiento en seco. La gestión de estos EECC quemados corresponde a NA-SA y CNEA.

Las fases transcurren desde la obtención del mineral de uranio a la fabricación final de los EECC, tanto para reactores de investigación utilizados para la producción de radioisótopos utilizados en medicina nuclear como para los reactores de potencia que generan energía eléctrica.

#### **4.1 El caso Dioxitek S.A.**

La CNEA tuvo a su cargo la producción del polvo de dióxido de uranio desde 1982. Pero, en 1996, el Poder Ejecutivo Nacional (PEN) creó —a partir de los laboratorios de CNEA en la ciudad de Córdoba— la empresa Dioxitek<sup>23</sup>, que comenzó a funcionar al año siguiente con el objetivo de garantizar el suministro de dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los EECC para las centrales nucleares CNA I, CNA II y CNE.

Las actividades que dieron origen a Dioxitek surgieron de la CNEA, cuando se tomó la decisión de hacer un salto de escala de reactores de investigación a centrales de potencia e inclinarse por una línea de combustible de uranio natural y agua pesada. Ese uranio natural podía producirse con la pureza nuclear necesaria en el país, pues los 30 años de experiencia de actividad de minería del uranio venían acompañados de trabajo industrial sobre ese uranio. Entonces, en 1982, se decidió escalar industrialmente el proceso, comprar una planta y comenzar a producir el polvo de uranio necesario para los combustibles de las centrales.

---

<sup>23</sup> Mediante el Decreto 1286/1996, aprobado el 12 de noviembre de 1996.

Las operaciones de Dioxitek son productivas y de servicios. Las productivas son la transformación del concentrado de uranio en dióxido de uranio y la fabricación de fuentes selladas de cobalto 60. La de servicios es la logística y exportación del radioisótopo molibdeno 99 (<sup>99</sup>Mo). Además, efectúa la compra en el exterior del concentrado de uranio. La operatoria productiva se establece a partir de contratos entre Dioxitek, NA-SA y la CNEA. En el siguiente apartado analizaremos la producción de polvo de dióxido de uranio para los EECC<sup>24</sup>.

#### 4.1.1 Fase 2: la producción del polvo de dióxido de uranio

Una vez recibido en la planta de producción de Córdoba, el concentrado de uranio importado es sometido a controles de calidad. Cabe aclarar que el concentrado de uranio que se importa no es exactamente el conocido como *yellow cake*<sup>25</sup>, que es un poco más purificado, sino un intermedio de producción. El concentrado de uranio suele llegar bastante purificado: los últimos embarques recibidos tenían un 95 % de pureza y Dioxitek los llevó al 99,88 %.

La primera etapa es la disolución, donde el concentrado se disuelve en ácido nítrico. Luego, pasa a la etapa de purificación, que consiste en una extracción de líquido a líquido (en esta etapa hay una fase orgánica y una fase acuosa). A determinada temperatura, el uranio tiende a pasar a la fase orgánica. Después, se invierte la temperatura y vuelve a la fase líquida en celdas de extracción. El estado final ya es uranio purificado. Posteriormente, sigue la etapa del concentrado para después precipitarlo. En ese momento, el uranio llega con cierta cantidad de ácido y se lo precipita con amoníaco. De esta manera, se llega a un polvo amarillo que es muy parecido al *yellow cake*. El precipitado se realiza sobre un filtro rotativo (como una torta), se filtra y luego se lava con metanol para que seque más rápido. Una vez secado, pasa a un horno de conversión, donde se realiza una oxidación controlada que lo convierte en polvo de dióxido de uranio. De allí pasa a la fase de expedición y despacho. El polvo producido tiene como destino final la planta de

---

<sup>24</sup> Para un análisis de las otras unidades de negocios de Dioxitek, véase Zappino (2022c y 2022d).

<sup>25</sup> Concentrado de mineral de uranio («torta amarilla»). Producto sólido del proceso de tratamiento del mineral de uranio, con un contenido de uranio superior al 75 % en forma de óxido de uranio (<sup>238</sup>U) (<https://www.foronuclear.org/wp-content/uploads/2020/05/diccionario-tecnologia-nuclear-2a-edicion.pdf>).

CONUAR en Ezeiza para la elaboración de las pastillas de uranio que se colocarán dentro de las vainas de los EECC.

El relanzamiento del Plan Nuclear Argentino en 2006 implicó cambios en la escala de producción de Dioxitek. Se buscaba reactivar el desarrollo de la energía nuclear y sus principales objetivos eran finalizar la CNA II; la construcción de la cuarta y quinta central nuclear; la extensión de la vida útil de la CNA I y la CNE; construir un prototipo de reactor CAREM; poner en marcha la planta de producción de agua pesada de Arroyito; y reanudar el proyecto de enriquecimiento de uranio. Estos proyectos —especialmente la finalización de la CNA II y la intención de construir dos nuevas centrales— llevaron a Dioxitek a la necesidad de construir una nueva planta de producción de polvo de dióxido de uranio que permitiera satisfacer los futuros requerimientos.

En 2013, se realizó una visita a la provincia de Formosa en donde su gobernador se mostró interesado en que se instale la nueva planta allí: para esto, cedió un predio de 59,5 hectáreas dentro de una parcela de 574 hectáreas a 16 km de la capital provincial, donde funciona el Polo Científico Tecnológico y de Innovación.

## **4.2 Tecnología y desarrollo en Dioxitek**

Principalmente, Dioxitek provee empleo de calidad en el sector de la metalurgia y la industria química en la ciudad de Córdoba, en el partido de Ezeiza y, próximamente, en la provincia de Formosa. Esto significó que la empresa se insertara en el tendido industrial del país surgido en los años cincuenta y se consolidara con la actividad de CNEA. También se trata de una parte fundamental de la decisión argentina de ir hacia un desarrollo nuclear con soberanía energética y autonomía tecnológica. La empresa tiene conocimiento argentino, mano de obra argentina y en un área que no existe en todos los países del mundo. Y esto refuerza la presencia que tiene el país en el mundo, en un asiento que ocupa como uno de los principales actores a nivel mundial en la actividad nuclear y en los usos pacíficos de esta.

La ventaja fundamental reside en que la empresa es un factor importante para el desarrollo nacional. Cuando se piensa un proyecto de país inclusivo y federal, se

debe reconocer que el sector nuclear y las empresas del sector generan empleo de calidad, suscitan proveedores locales, potencian economías locales y aumentan las capacidades de gestión, coordinación y sustitución de importaciones.

Otra ventaja que aporta Dixitek al desarrollo nacional es, desde el punto de vista macroeconómico, la sustitución de importaciones, el ahorro de divisas y, en este sentido, una contribución a las acciones necesarias para romper la histórica restricción externa que sufre la Argentina. En el sector nuclear, esa restricción externa es geopolítica. La decisión del país de apostar por el uranio natural tenía que ver con un contexto que hoy cambió y que es mucho más complejo. A principios de los ochenta, el acceso al uranio enriquecido estaba muy condicionado por las grandes potencias. Hoy, cuarenta años después, el escenario es otro. Existen nuevos actores en el sistema (principalmente China) y las amenazas ya no son las mismas o no se expresan con la misma fuerza que en esa época.

Todo el conocimiento en procesos químicos, físicos, el desarrollo de la metalurgia, la generación de energía eléctrica a través de las centrales y la fabricación de los EECC se aprovechó para el proceso de pasar del combustible nuclear a las otras líneas ( $^{60}\text{Co}$  y  $^{99}\text{Mo}$ ). El reactor CANDU, que genera energía nucleoelectrónica, también se usa para generar las fuentes de  $^{60}\text{Co}$ . Existe una sinergia permanente entre los distintos actores del sector nuclear y fundamentalmente con la CNEA.

## **5. El caso CONUAR S.A.**

En esta sección nos enfocamos en algunos conceptos acerca de las tres fases finales del ciclo del combustible nuclear, operadas en forma conjunta por la empresa CONUAR S.A., Nucleoelectrónica Argentina S.A. (NA-SA) y NA-SA-Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Luego, analizaremos las principales características, la historia y el desarrollo de CONUAR.

## 5.1 Características, historia y desarrollo de CONUAR

Entre 1975 y 1976, surgió el antecedente inmediato de CONUAR: la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN) que se instaló en Ezeiza. Por otro lado, la CNEA creó la Planta Piloto de Fabricación de Elementos Combustibles Nucleares, encargada de la fabricación de los EECC para la CNA I, que se instalaría en el Centro Atómico Constituyentes (CAC) (Quilici, 2008).

Finalmente, en 1981, la CNEA comenzó las gestiones para transformar la planta de Ezeiza en una empresa mixta con participación de la industria privada nacional. La nueva empresa se denominaría Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR S.A.).

Quilici (2010) aclara que el proceso de transformación se determinó a través de un concurso público para buscar un socio industrial privado, con una participación mayoritaria en la nueva empresa. Las condiciones del pliego establecían que este debía ser de capital local y de origen nacional. En ese momento, la oferta la ganó una empresa que representaba a la siderúrgica Talleres Metalúrgicos San Martín (TAMET)<sup>26</sup>. Más tarde, esta última fue relevada, ya que ingresó en convocatoria de acreedores por la empresa EMA S.A. (Electromecánica Argentina) que pertenecía a la Sociedad Argentina de Electrificación (SADE)<sup>27</sup> del Grupo Pérez Companc. Cuando se estaba formalizando el contrato, se conoció que un 5 % de las acciones de SADE pertenecían a General Electric de los Estados Unidos y, por

---

<sup>26</sup> Creada en 1930, fue la primera empresa en el mundo en fabricar caños de fundición de hierro centrifugado, así como también la primera en el país en fabricar alambres de alta resistencia y alambres de talones de neumáticos para automóviles y camiones. En 1926, adquiere la Compañía Argentina de Hierros y Aceros Pedro Vasena e Hijos Ltda. y cerró, así, un ciclo de casi veinticinco años de feroz competencia entre ambas compañías, lo que la convirtió en la empresa metalúrgica más importante de América del Sur y en uno de los colosos industriales del país. Empero, TAMET cerró durante el proceso de desindustrialización iniciado en la década de los setenta.

<sup>27</sup> Fue fundada en Buenos Aires en 1947. Su principal objetivo era el proyecto y el montaje de centrales eléctricas, subestaciones de transformación y tendidos de líneas de transmisión y distribución de electricidad (de allí su denominación, que en el futuro dejaría de ser una sigla para convertirse en simplemente un nombre: SADE). En 1976, la mayoría accionaria de General Electric en SADE fue adquirida por el Grupo Pérez Companc.

lo tanto, que estaba inhabilitada por lo establecido en los pliegos. De esta manera, se formó la empresa PECOM NUCLEAR que pertenecía exclusivamente al Grupo Pérez Companc. El 31 de mayo de 1981 se produjo la recepción final de la obra civil, las instalaciones auxiliares y la infraestructura. Paralelamente, se montaron máquinas de producción e instalaciones complementarias y se llevó a cabo la recepción y el depósito de materiales críticos —zircaloy, aceros inoxidable especiales y polvo de dióxido de uranio— (Comisión Nacional de Energía Atómica [CNEA], 1981).

Luego, el 26 de octubre de 1981 se crea la empresa Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR S.A.) mediante el Decreto 719/1981, por el cual se autorizó a la CNEA a constituir una sociedad anónima mixta con participación de empresas privadas. Inicialmente, se había previsto el ingreso de un tercer socio privado (CNEA con el 25 % de las acciones preferenciales, el socio operador con el 50 % y el tercero con el 25 % restante), pero nunca se llegó a perfeccionar esta participación. Posteriormente, se acordó que el paquete accionario quedara conformado por el 66,66 % del Grupo Pérez Companc y el 33,33 % de la CNEA. La fábrica se inauguró oficialmente el 2 de abril de 1982. Mientras que la CNEA era la fuente del conocimiento científico y el desarrollo de los procesos productivos avanzados, el Grupo se hacía cargo de la industrialización y la gestión productiva.

CONUAR comenzó su producción los primeros meses de 1982, inicialmente, para abastecer la demanda de combustible de la CNA I. Quilici (2010) afirma que el estatuto de la empresa le daba a la CNEA el derecho de elección de la/el presidenta/e y vicepresidenta/e del directorio y la posibilidad de acuerdo para el cubrir el cargo de gerenta/e de control de calidad. La CNEA tenía poder de veto sobre aquellas acciones de compra del *know how* que pudieran considerarse un riesgo para la pérdida del dominio de la tecnología. Además, fijaba que el 2 % de lo facturado por la empresa debía ser destinado a I+D. El personal técnico inicial formaba parte, casi por completo, de la planta piloto de la CNEA.

Actualmente, la compañía posee cuatro unidades de negocios: Combustibles Nucleares, Fabricación de Aleaciones Especiales (FAE), SM&S Fabricación de Componentes, y SM&S Montajes y Servicios Especiales. En CONUAR-EECC se fabrican las pastillas de uranio, tanto natural como levemente enriquecido (ULE),

utilizados en los reactores de potencia. Además, se desarrollan los EECC para los reactores de investigación (con uranio enriquecido hasta el 20 %) y las barras controladoras de reactividad (núcleos de cobalto) para Dioxitek S.A.

El área de servicios incluye el área nuclear de las centrales, los reactores de investigación, celdas calientes e instalaciones nucleares en general. Los EECC fabricados por CONUAR han generado más del 8 % de la energía eléctrica producida en la Argentina en los últimos veinte años. Además, CONUAR colabora en el proyecto CAREM-25, primer reactor nuclear de potencia diseñado por la CNEA. Para este proyecto, la empresa ha fabricado el *liner 28 metálico*<sup>28</sup> del edificio del reactor, el circuito de alta presión para ensayos de mecanismos y los EECC con uranio enriquecido. A su vez, el mismo año proveyó las partes y los equipos necesarios para el mantenimiento de la CNA II y la CNE, entre los que se destacaron 12 canales refrigerantes y boquillas, canastos para el almacenamiento de combustibles quemados tipo CANDU y el sistema de desmantelamiento y traslado de filtros.

Por otro lado, la empresa fabrica tubos rectos sin costura de 35 m de largo, Alloy 690, para generadores de vapor. Estos son creados de acuerdo con los lineamientos del Electric Power Research Institute (EPRI) y una serie de requerimientos adicionales establecidos por la CNEA. Debido a que deben ser tubos rectos y sin costura, la FAE tuvo que construir el horno citado.

## 5.2 Otros proyectos donde interviene o intervino CONUAR

CONUAR fabricó e instaló todos los componentes internos (canales de combustible) que se reemplazaron en el reactor y los tubos alimentadores. Además, realizó la instalación de los tubos de calandria. La relación con la CNE ocurre desde el inicio de las operaciones de esta central. En 1984, la empresa firmó un contrato con la CNEA, en el marco del proyecto Suministro Combustible

---

<sup>28</sup> El *liner* tiene un diámetro de 19 m, 8,6 m de altura y pesa aproximadamente 100 tn. Entre otros componentes, contiene el vano de equipos, el robot para el mantenimiento de los generadores de vapor y la parte superior del recipiente de presión, con las salidas y retornos del vapor que mueve la turbina (<https://enula.org/2019/04/nueva-etapa-en-la-construccion-del-reactor-carem/>).

para Embalse (SUCOEM) para la fabricación de los EECC tipo CANDU. A ese efecto, se produjo el traspaso de la tecnología desarrollada por la CNEA. En 2017, ya en el marco de los trabajos de extensión de vida, CONUAR finalizó la instalación de tubos de calandria. El retubado de la CNE fue el tercero realizado en el nivel mundial en plantas nucleares de diseño canadiense, con el fin de extender la vida útil de sus reactores. Inicialmente, fue realizado por la central nuclear de Point Lepreau<sup>29</sup> en Canadá.

En 1983, se propusieron cambios en el diseño de los EECC de la CNA I. Además, CONUAR suministra a esta central de servicios y componentes varios, entre los que se encuentran los anillos de cierre de los canales de refrigeración. En 2015, también participó de los trabajos destinados a la extensión de vida, entre los cuales se encuentra el Sistema de Transferencia de EECC quemados entre las piletas de CNA I y CNA II, proyecto que posibilitó a NA-SA iniciar el movimiento de EECC para otorgarle a la CNA I la posibilidad de seguir operando por liberación de espacio en su pileta, que estaba cerca de completar su capacidad. También, en relación con esto último, CONUAR realiza la obra del Almacenamiento en Seco de Elementos Combustibles Quemados (ASECQ), contrato acordado con NA-SA que tiene por objeto la fabricación, la provisión, la confección de documentación, la prueba de aceptación, y el ensayo y la entrega en obra de unidad de silo, unidad de almacenamiento, inserto metálico de techo y tapas para unidades de silos para el ASECQ en la CNA I.

En 1988, CONUAR participó de la elaboración de dispositivos y componentes para la reparación de la CNA I<sup>30</sup>, diseñados con ingeniería de la CNEA y de INVAP. Se fabricaron manipuladores motorizados de hasta 30 kg de fuerza diseñados por la CNEA, manipuladores hidráulicos diseñados por INVAP y distintos tipos de herramientas para corte de tubos y chapas, transporte, almacenamiento y extracciones del reactor, dispositivos para almacenamiento en pileta, boquilla y toberas para canales de combustibles, canales de combustibles, sistemas de lavado, elevadores motorizados para manipuladores y repuestos de partes del

---

<sup>29</sup> Situada en la ciudad de Point Lepreau, New Brunswick, es la única instalación nuclear ubicada en Canadá oriental. Está compuesta por un reactor CANDU, con una potencia total de salida de 640 MW (capacidad neta) y 680 MW (bruto por neto).

<sup>30</sup> Para una descripción del proceso de reparación de la CNA I en 1988, véase Almagro *et al.* (2017).



reactor. Esta operación significó un avance sustantivo en la provisión de este tipo de suministros para centrales nucleares y un beneficio para el país, dado el empleo de recursos locales en la aplicación de alta tecnología y el gran ahorro de divisas por sustitución de importaciones.

Los trabajos de CONUAR para la CNA II comenzaron en 2007, cuando se firmó un contrato con NA-SA para la modificación y ensamble de 120 canales refrigerantes de combustible. En 2013, el equipo técnico de CONUAR realizó una inspección del sistema de transporte y carga de los EECC y participó de la primera carga de los 451 EECC que conformó el primer núcleo de la central. Adicionalmente, se entregaron dos EECC especiales instrumentados para la realización de pruebas. En 2015, se inició la producción a plena capacidad de los EECC para la CNA II, lo que requirió la modificación de equipos, la compra de materias primas, componentes e insumos, y la redacción y emisión de documentación operativa, así como también la calificación del personal y de los procesos productivos.

### **5.3 Fase 3: fabricación de los EECC**

Cuando el polvo de dióxido de uranio proveniente de Dioxitek S.A. ingresó a la planta de Ezeiza, comenzó el proceso de fabricación de los EECC para las centrales de potencia. El primer proceso es convertir el polvo de dióxido de uranio en pastillas de uranio de alta densidad de 1 cm de diámetro y 1 cm de altura, aproximadamente, en un proceso a alta presión. Luego, por alta temperatura en atmósfera controlada, el polvo es transformado en cerámico. De esta forma, se logra aumentar la densidad del material de uranio más de cuatro veces.

El proceso de conversión a pastillas de uranio incluye primero un prensado, luego un sinterizado a altas temperaturas y, finalmente, un rectificado, además de los ensayos y los controles de calidad correspondientes.

Durante el proceso de armado final del combustible, se colocan las pastillas dentro de las vainas de zircaloy y se les sueldan dos tapones. Este proceso es muy importante para que quede absolutamente estanco y no tenga fugas al momento de la irradiación, es decir, que los productos de fisión no puedan escapar de allí.

Luego, con esas vainas —que ahora se denominan «barras de combustible»— se arman los manojos (37 barras) que llevan elementos que las mantienen unidas. Las barras para la CNA I y la CNA II tienen 6 m de largo, mientras que las barras para las CNE tienen 50 cm. En el caso de la CNA I y la CNA II, además, llevan elementos estructurales, como acoples y anexos, que permiten colgarlos de la tapa del reactor.

Todo el proceso es muy delicado, tanto en el uranio como en el zircaloy. Estas aleaciones no son utilizadas habitualmente en la industria, ya que requieren condiciones de trabajo muy especiales. Además, la manipulación del uranio tiene los controles necesarios, debido a su condición de elemento, si bien en bajas cantidades, radiactivo.

El trabajo se halla muy controlado y la calidad representa un punto crítico, ya que, una vez en el reactor, el combustible no puede fallar. Y si tiene fallas<sup>31</sup>, deben ser mínimas.

## **5.4 Otras unidades de negocio de CONUAR**

### **5.4.1 Fábrica de Aleaciones Especiales (FAE)**

FAE fue creada el 30 de abril de 1986 mediante el Decreto 1088/1986 del PEN. El capital se constituyó con una participación del 68 % de la empresa CONUAR y del 32 % de la CNEA. El objetivo era lograr el dominio completo de la tecnología de producción de vainas y semiterminados de zircaloy requeridos para la fabricación de los EECC con la tecnología suministrada por la CNEA, producir tubos de acero inoxidable y aceros especiales de alta calidad, y desarrollar productos que permitan el más alto grado de aprovechamiento del equipamiento disponible. La planta se ubica dentro del CAE.

En 1998, FAE alcanzó el tercer lugar como exportador de tubos sin costura al mercado brasileño, luego de Suecia y los EE. UU. Al mismo tiempo, comenzó con la implementación del Sistema de Gestión Ambiental, según la norma ISO 14001.

---

<sup>31</sup> Una falla es, por ejemplo, que se presenten fugas que contaminen el circuito de la central. Estas fallas no afectan la salud de las personas, pero sí complican la operación de las centrales.

En 2007, luego de la puesta en marcha del proyecto de terminación de la CNA II, FAE produjo los primeros tres lotes para la calificación de las vainas para los EECC. Durante el mismo año, la empresa comenzó con el desarrollo de procesos y ensayos de materiales de incoloy 80048 con el propósito de calificarse como proveedores de los tubos de ese material para el proyecto de extensión de vida de la Central Nuclear Embalse. Para este proyecto, la empresa debió ampliar el Sistema de Aseguramiento de Calidad con el objetivo de cumplir los requisitos de las normas canadienses, lo que la autoriza a fabricar y suministrar materiales que serán montados en los reactores nucleares para partes sometidas a presión. Al año siguiente, y en este mismo proyecto, FAE finalizó el desarrollo, el diseño y la construcción del nuevo horno vertical necesario para la realización de los tratamientos térmicos de grandes tubos de zircaloy.

En 2013, la empresa dio cumplimiento a la contratación realizada con la empresa Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A.I.C. (IMPISA)<sup>32</sup> para el suministro de tubos de incoloy 800<sup>33</sup>. Estos tubos —considerados uno de los componentes más críticos de una central nuclear— se destinaron a la fabricación de los generadores de vapor por parte de la empresa mendocina. Cabe agregar que este trabajo corresponde al Proyecto de Extensión de Vida de Embalse y que fue la primera vez que se fabricaron ese tipo de tubos en el país.

Asimismo, a fines de 2014, FAE obtuvo una orden de compra de la empresa Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería Sociedad del Estado (ENSI S.E.)<sup>34</sup> para fabricar tubos de acero inoxidable curvados.

---

<sup>32</sup> 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 IMPISA como única solución para asegurar el futuro de la empresa. En junio de 2021, esta se convirtió en una empresa pública luego de recibir un total de 20 millones de dólares (14,4 millones de dólares del Gobierno federal y el resto de la provincia de Mendoza), a cambio de una participación del 63,7 % y del 21,2 %, en la empresa respectivamente.

<sup>33</sup> La aleación incoloy 800 es un material ampliamente utilizado para la construcción de equipos que precisan de resistencia a la corrosión y al calor, además de resistencia y estabilidad para funcionar hasta 816 °C (<https://www.haraldpihl.com/es/Productos/heat-resistant-alloys/incoloy-800-hht>).

<sup>34</sup> Fue creada el 21 de diciembre de 1989 como convenio entre la CNEA y el Gobierno de la provincia del

Finalmente, el 11 de febrero de 2019, el PEN emitió el Decreto 121/2019 en el cual se instruyó al Ministerio de Hacienda, a través de la Secretaría de Gobierno de Energía, para que adopte las acciones necesarias con el fin de concretar la fusión de FAE con la empresa CONUAR. El proceso continuó en marzo con la autorización de la Secretaría de Energía a la CNEA, —en su carácter de accionista de CONUAR y de FAE— a realizar todos los actos societarios necesarios para concretar la fusión por absorción de las mencionadas sociedades, en tanto el organismo de energía nuclear mantuviera como mínimo un 35,57 % de participación accionaria en el nuevo capital social de CONUAR. El 18 de marzo de 2019, se suscribió el compromiso previo de fusión. Como consecuencia de esto, se incorporaron y transfirieron a CONUAR todos los activos y pasivos, derechos y obligaciones de los que FAE era titular. La fecha efectiva de la fusión fue el 1 de abril de 2019 y quedó inscripta en la Inspección General de Justicia (IGJ) el 25 de septiembre del mismo año.

#### **5.4.2 Soluciones de Manufactura y Servicios Especiales (SM&S)**

La división SM&S fue creada por CONUAR en 2007, con el fin de realizar productos y servicios de alta tecnología y precisión, además de desarrollar de componentes especiales como equipos, herramientas y dispositivos de control para uso científico, nuclear y otras industrias de avanzada, como la aeronáutica, la petroquímica y la biomecánica, entre otras.

### **5.5 Tecnología y desarrollo en CONUAR**

Una de las características principales de CONUAR es la conjunción entre el conocimiento científico y tecnológico, y la gestión industrial y productiva, en este

---

Neuquén, con el objetivo de producir y comercializar agua pesada ( $D_2O$ ) virgen, grado reactor. ENSI opera la Planta de Industrial de Agua Pesada (PIAP) donde se produce el  $D_2O$  que se utiliza como moderador y refrigerante en los reactores nucleares argentinos que utilizan uranio natural como combustible. La empresa diversificó su actividad en 1995 al crear su unidad de negocios orientada a satisfacer las necesidades de los sectores industriales, principalmente el petroquímico, petróleo y gas (<http://www.ensi.com.ar/ensi-empresa>).

caso, con un modelo virtuoso de asociación público-privada entre la CNEA y el Grupo Pérez Companc.

Ya desde los orígenes, la innovación estaba presente en el accionar de la empresa. Entre los aspectos que la incentivaban se encuentran los mismos contratos firmados con CNEA para el suministro de los EECC. Esos contratos implicaban la posibilidad de conseguir costos menores por mejoras continuas provenientes de la reinversión de las ganancias en nuevos equipamientos, tecnología, procedimientos y capacitación continua del personal de todos los niveles. Además, y casi desde sus inicios, CONUAR adoptó y certificó diversas normas de calidad ISO para los aspectos productivos, ambientales y de salud ocupacional.

En el aspecto innovativo, pueden destacarse dos hitos donde CONUAR fue protagonista. Por un lado, la fabricación de los EECC para la CNA I, que resultó un caso único en lo referente a reactores que originariamente utilizaban uranio natural. Producto del trabajo conjunto de CONUAR, CNEA y NA-SA, los EECC actuales son de ULE, lo cual se tradujo en una importante disminución de los costos de generación de energía eléctrica como consecuencia de una menor cantidad de EECC para producir la misma cantidad de MW.

Por otro lado, el segundo hito lo conformó el temprano desarrollo de los EECC de tipo CANDU para la CNE, a partir de la tecnología desarrollada por la CNEA y transferida a CONUAR, quien continuó con su desarrollo y evolución. Este logro fue producto del contrato con el diseñador original de la central, la empresa canadiense AECL, por el cual la empresa se comprometía a transferir la tecnología a CNEA. De esa manera, el organismo nuclear argentino debía diseñar los EECC a partir del diseño y los materiales originales. Para esto, se creó el proyecto SUCOEM, diseñado y estructurado para generar tecnología que posteriormente se pudiera transferir a la industria.

Estos dos hitos significaron la obtención del *know how* necesario para la fabricación local de los EECC tipo CANDU, los cuales fueron transferidos por CNEA a CONUAR, que a partir de allí se hizo cargo de la provisión de estos combustibles.

Otras innovaciones de CONUAR sobre la fabricación de los EECC tipo CANDU fueron las siguientes:

- El sistema automático lineal para el frentado de vainas, el llenado de vainas con pastillas, la soldadura de tapones y el maquinado final de las barras combustibles. Este sistema es el más avanzado en el mundo para este tipo de combustible y puede operar sin intervención humana.
- El cambio del sistema de grafitado en horno continuo por uno *batch*.
- El cambio en el posicionamiento de los espaciadores con asistencia de la Canadian General Electric.
- La optimización del dispositivo de ensamble de barras combustibles y soldadura de grillas extremas.

Por último, algunas de las innovaciones de la FAE son las siguientes:

- Modificaciones a las laminadoras importadas de Rusia, con el fin de mejorar sus performances.
- Profundización del conocimiento en la fabricación de vainas de zircaloy para los EECC tipo CANDU. Una de las modificaciones consistió en disminuir en una «pasada» por las máquinas laminadoras de tubos durante el proceso de fabricación de las vainas, lo cual representó un ahorro importante en el costo de producción.
- Dominio de la tecnología del circonio para poner a punto los procesos de producción de tubos de aleaciones de titanio sin costura.
- Fabricación de tubos de acero inoxidable, con y sin costura para su colocación en el mercado externo.
- Mejora de los hornos de tratamiento térmico y otras instalaciones, como la de lavado de tubos.

Por lo antedicho, la empresa CONUAR constituye un eslabón estratégico del sector nuclear argentino. Su accionar contribuye al desarrollo, la mejora de la seguridad y la eficiencia del sector. En efecto, sus políticas de calidad, seguridad y protección del medioambiente y la comunidad la convierten en un actor relevante, no solo del desarrollo del sector, sino también del país en general.

## 5.6 Fase 4: utilización y recarga de los EECC

Los EECC fabricados por CONUAR son utilizados tanto en los reactores de investigación como en los reactores de potencia. En este trabajo, no se analizará su uso en los primeros, sino que se describirá su utilización en los reactores de potencia que emplea el país para la generación de energía eléctrica. Estos reactores están ubicados en las centrales nucleares de Atucha I (CNA I), Atucha II (CNA II) y Embalse (CNE), operadas por la empresa NA-SA.

Los reactores argentinos son, originalmente, de uranio natural (un 99,3 % uranio 238 ( $^{238}\text{U}$ ) y un 0,7 % de uranio 235 ( $^{235}\text{U}$ )<sup>35</sup>. La CNE, de tipo CANDU, y la CNA II usan ese combustible. Hace unos años se realizó un cambio de combustible en la CNA I. En lugar de usar uranio natural se utiliza uranio levemente enriquecido (ULE)<sup>36</sup>. Este cambio ahorra, aproximadamente, un 40 % en cantidad de combustible, producto de una mayor permanencia de los EECC en el reactor<sup>37</sup>. La Argentina

---

<sup>35</sup> El uranio 235 ( $^{235}\text{U}$ ) es el único isótopo presente en la naturaleza con capacidad para provocar una reacción en cadena de fisión nuclear. Es una característica que ni siquiera el  $^{238}\text{U}$ , el más común de este elemento, posee. Se denomina «isótopos» a los átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y, por lo tanto, difieren en su masa (suma del número de protones y el número de neutrones del núcleo de un átomo). El neutrón es una partícula subatómica, un nucleón, sin carga neta, presente en el núcleo atómico de prácticamente todos los átomos. En las centrales nucleares actuales, solo el  $^{235}\text{U}$  y el plutonio 239 ( $^{239}\text{Pu}$ ) se emplean como combustible en los reactores nucleares. Por último, la fisión es la división de un núcleo en núcleos más livianos ([https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario\\_nuclear.html](https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario_nuclear.html)).

<sup>36</sup> En lugar de un 0,7 % de  $^{235}\text{U}$ , se utiliza un 0,85 %.

<sup>37</sup> En una nota a Télam, Fernando Montserrat de NA-SA, explica que el aumento de 14 centésimas (de 0,71 % a 0,85 %) en el uso de uranio levemente enriquecido en la CNA I permitió duplicar la generación de energía en esa central nuclear. En efecto, la cantidad de energía pasó de 5500 a 11.000 MWt por

está analizando la posibilidad de realizar este cambio también en la CNA II. Las tres centrales utilizan agua pesada ( $D_2O$ )<sup>38</sup> como moderador. Una vez que los EECC ingresan en las centrales, se verifica que estén en buenas condiciones<sup>39</sup> y se colocan en las denominadas «piletas de combustible nuevo». Luego, pasan a la máquina de carga que los ubica en el reactor.

En el siguiente paso, los EECC ingresan al reactor para ser utilizados en el proceso de fisión. Este proceso se inicia cuando los átomos de uranio presentes en los EECC son «bombardeados» por neutrones. Los neutrones se generan intrínsecamente en el reactor, ya que los emite el uranio. Además, existe, por un lado, una fuente de fotoneutrones que se utilizan para iniciar la reacción en cadena; y, por otro lado, una fuente adicional a la que emite el uranio no activado, que se produce por la radiación gamma y genera más neutrones en el átomo de uranio. Estos son los que se llaman «fotoneutrones»<sup>40</sup>.

Para que arranque el reactor, se extraen las barras de control de modo que se inicie la reacción en cadena. Estas barras son los elementos que permiten regular la potencia del reactor y representan un aspecto esencial de su seguridad. Sin ellas, la potencia del núcleo del reactor aumentaría sin control. Las reacciones nucleares que ocurren dentro de un reactor de fisión se producen en cadena, es

---

día (<https://www.telam.com.ar/notas/201611/169527-uso-de-uranio-enriquecido-duplico-generacion-energia-atucha.html>).

<sup>38</sup> El agua pesada ( $D_2O$ ) es una molécula de composición química equivalente al agua. Sin embargo, tiene una particularidad: los dos átomos de hidrógeno son reemplazados por átomos de deuterio, que es uno de los isótopos del hidrógeno. En el núcleo del deuterio hay un protón y un neutrón, por lo que el número de masa es dos y el número atómico es uno. También se lo conoce como «hidrógeno pesado». El deuterio se expresa como  $^2H$ , pero, más comúnmente, también se puede usar una D. Por lo tanto, el agua pesada tiene la fórmula molecular de  $D_2O$ . Es transparente, tiene un color azul pálido y puede exhibir diferentes propiedades físicas y químicas que el análogo del hidrógeno. Este tipo de agua se utiliza en reactores nucleares, así como en estudios de procesos químicos y bioquímicos (<https://www.fundacionaque.org/agua-pesada>).

<sup>39</sup> Se inspeccionan visualmente con registro de video.

<sup>40</sup> Neutrón emitido como resultado de la interacción de un fotón de radiación gamma con un núcleo. En los reactores, que contienen berilio y deuterio en abundancia, se produce una fuente de neutrones de considerable intensidad (Tanarro Sanz y Tanarro Onrubia, 2008).



decir, cada vez que un átomo es impactado por un neutrón, el núcleo del átomo se divide y emite uno o dos neutrones más. Los neutrones liberados pueden impactar contra otros átomos, de modo que cada vez se producirían más reacciones por unidad de tiempo.

Las barras de control son tubos cilíndricos fabricados con un material que absorbe neutrones, generalmente carburo de boro o aleaciones de plata, indio y cadmio. Las dimensiones de las barras de control son las mismas que las de las varillas del combustible nuclear. La efectividad de las barras depende de la proporción de ellas que se encuentre en contacto con la zona de reacción. Cuanto más cerca del núcleo del reactor se ubiquen, más neutrones absorberán y, por lo tanto, menos reacciones se producirán.

A menudo, Las barras de control son el elemento más importante en una parada rápida del reactor («parada de emergencia»). En los reactores de agua a presión, como el de la CNE, las barras cuelgan en el reactor y pueden funcionar como un sistema de seguridad. Las barras se mantienen subidas con un electroimán y en el caso de una pérdida imprevista de potencia de control, caen automáticamente en el reactor. De este modo, la reacción de fisión nuclear en cadena se detiene. En otros tipos de reactores, como el reactor de agua en ebullición, las varillas sobresalen del fondo hacia el interior del reactor. Para activarse, deben ser empujadas hacia el núcleo del reactor.

En realidad, el proceso de control del reactor es más complicado: el curso de la reacción también depende de la temperatura, de la refrigeración del reactor y de la presencia de ciertos desechos del proceso de fisión (que, a veces, absorben muchos neutrones). Cuando las barras de control bajan completamente —por ejemplo, durante una parada de emergencia— la reacción en cadena nuclear se detendrá casi de inmediato. Entonces, se dice que el reactor se vuelve «subcrítico». Sin embargo, el material radiactivo continúa emitiendo calor durante algún tiempo y debe continuar disipándose, de lo contrario, puede producirse un colapso<sup>41</sup>.

---

<sup>41</sup> Para más información, ingresar a <https://energia-nuclear.net/funcionamiento-central-nuclear>

Cuando un EC está quemado, la máquina de recambio lo retira del reactor. A esa columna se le realiza un mantenimiento en el cuerpo de cierre y se le coloca un combustible fresco. La columna «viaja» por un canal subterráneo hacia el recinto del reactor. En el reactor, lo recibe lo que se denomina la «botella basculante» que coloca la columna en sentido vertical, ya que esta llega en sentido horizontal. En la CNE no existe esa «botella basculante» porque los EECC ya ingresan al reactor en forma horizontal. Cuando llega una columna con un EC fresco se lleva a una posición determinada y el que estaba en esa posición es llevado a otra. De esta manera, los EECC más nuevos van quedando en los círculos concéntricos alejados de la parte central de la vasija y van avanzando a medida que los que están más cerca del centro se queman. Ese combustible quemado se coloca en la pileta de decaimiento.

En todo el proceso de carga y descarga, la intervención humana es remota. La máquina de carga y descarga sería como un robot al que la/el operadora/or, desde la sala de control del reactor, le «ordena» llevar o quitar un EC de una posición determinada. El reactor tiene como una «grilla» de coordenadas que indican la posición de cada uno de los canales. Los EECC entran y salen de a uno.

El canal subterráneo se usa en ambos sentidos, pero siempre de a un EC por vez. El combustible no va solo. Se arma una columna que tiene un cuerpo de cierre y un cuerpo de relleno, que es un cilindro macizo de acero y abajo va el EC. El cuerpo de cierre y de relleno se reutilizan. Una vez retirados del reactor, los EECC quemados se depositan en las piletas de decaimiento. Allí comienza la última fase del ciclo.

## **5.7 Fase 5: gestión de los EECC «quemados»**

En líneas generales, cuando los EECC se retiran del reactor, aún poseen restos de radiación. Esta situación obliga a aislarlos inmediatamente en las piletas de decaimiento, a las que llegan por un canal de transferencia. En esas piletas, el agua que hay por encima sirve de blindaje biológico y además elimina el calor que se desprende de todo material con alta actividad. Luego de algunos años en las piletas, los EECC se pueden considerar como residuo radiactivo y se procede a su

disposición final, o se los considera como un producto del que se puede recuperar el uranio y el plutonio que contienen para su aprovechamiento energético posterior. Las tres centrales argentinas cuentan con piletas de decaimiento. Además, en la CNE existen silos de hormigón donde se depositan los EECC una vez que se retiran de las piletas.

La gestión de las piletas corresponde a NA-SA hasta que el país, por intermedio de la CNEA, tome la decisión de reprocesar los EECC o proceder a su disposición final como residuo radiactivo. La decisión de no reprocesar cambiaría el estatus jurídico de los EECC y estos pasarían a la órbita de la CNEA que establecería la disposición final según la normativa vigente. Vale aclarar que el reprocesamiento requiere de una tecnología que no está disponible al día de hoy en el país<sup>42</sup>.

## 6. A modo de conclusión

Al resumir las principales características de INVAP en lo referente a su contribución al desarrollo económico, puede afirmarse que la innovación permanente es una de ellas, la cual existe en diferentes formas, como los proyectos y los productos que necesitan de tecnología compleja, el diseño de prototipos y la producción a medida del cliente. En ese sentido, el desarrollo resulta más importante que la investigación en el accionar de la empresa. Esa dinámica conjuga la habilidad de integrar conocimientos interdisciplinarios con la capacidad de transferir desarrollos tecnológicos específicos de un área a otra.

Dentro de esta dinámica, resulta clave el desarrollo de un modelo transversal para producir conocimiento aplicado. Es decir, las habilidades y las especializaciones de su personal técnico son flexibles y orientadas a productos concretos. En suma, las/os mismas/os profesionales se sitúan al frente de los nuevos desafíos.

Otro punto importante lo marca la utilización por parte del Estado del poder de compra para inducir y promover sectores considerados estratégicos. La historia de INVAP no es ajena a este proceso, ya que, desde sus orígenes, la empresa

---

<sup>42</sup> Algunos aspectos históricos de los intentos de reprocesamiento en la Argentina pueden consultarse en Quilici y Spivak L'Hoste (2016).

surgió como un actor fundamental en el desarrollo de proyectos vinculados a las necesidades de la CNEA para sus requerimientos en el área nuclear. Así, cuando el Estado planifica y decide confiar en la capacidad de las empresas y de las/os técnicas/os nacionales, se genera un círculo virtuoso: INVAP le da trabajo a muchas pymes que generan más trabajo y una capacidad de exportar que de otra manera no obtendrían.

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. De esta manera, podemos decir que las capacidades de NA-SA son herederas de 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.

Por añadidura, no puede comprenderse el significado y la trayectoria de NA-SA sin las transformaciones estructurales producidas en los años noventa. Esas reformas y las privatizaciones modificaron definitivamente la lógica de funcionamiento del sector eléctrico, ya que lo dividieron en tres segmentos (generación, transporte y distribución) organizados en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

La reforma del Estado no podía dejar de afectar al sector nuclear, el cual sufrió una profunda reestructuración, cancelaciones de planes y paralización de obras, entre ellas la de Atucha II. Producto de esa reestructuración y del fracaso del intento de privatización de las centrales nucleares, se creó NA-SA.

Actualmente, a partir de la operación de las tres centrales nucleares argentinas —CNA I, CNA II y CNE—, NA-SA entrega energía limpia y no generadora de gases contaminantes al Sistema Integrado Nacional. La demanda energética cubierta pasó de poco más del 4 % en 2014 a cerca del 8 % en 2020, lo que demuestra que la generación nucleoelectrica es cada vez más importante. Y esto se realiza con bajos requerimientos de combustible, debido al alto poder calorífico del uranio. En el futuro, NA-SA planea encarar diversos proyectos sumamente importantes para el desarrollo de la generación nucleoelectrica y, por consiguiente, para un mejor

y mayor abastecimiento de la energía en pos del desarrollo económico. Entre estos proyectos se encuentran la construcción de la cuarta central nuclear, con uranio enriquecido y agua liviana, y una quinta central tipo CANDU. Este proyecto significará la utilización de la capacidad industrial y la generación de empleo nacional, ya que se aprovecharán los derechos argentinos sobre la tecnología de este tipo de reactores.

Además, la construcción de las dos nuevas centrales implicará un crecimiento de la producción de EECC íntegramente nacionales por parte de Dioxitek y CONUAR. Además, significará la continuidad de los trabajos de producción de agua pesada en la planta de Neuquén.

El estudio de la experiencia de Dioxitek permite corroborar que es posible producir esas tecnologías intensivas en conocimiento en el país y en contextos no siempre favorables. Y, más importante aún, que esas capacidades locales fueron adquiridas y desarrolladas por organismos y empresas del sector público. El derrotero de Dioxitek permite identificar la forma en que se hicieron realidad aquellos paradigmas y factores que permitieron que se crearan y desarrollaran empresas públicas y mixtas en la Argentina, con el énfasis puesto en la inversión pública en desarrollo y conocimiento, y en los instrumentos que posee el Estado para el cumplimiento de esos objetivos; entre ellos, el poder de compra utilizado para incentivar la producción de tecnología.

Asimismo, resulta necesario, desde el punto de vista de esos paradigmas, vincular temas como las relaciones entre el Estado, la estructura productiva y el conocimiento científico-tecnológico. En este sentido, tanto la teoría de la triple hélice de Etzkowitz & Leydesdorff (2000) como el triángulo descrito en el trabajo de Sábato y Botana (2011) enmarcan el proceso dentro del cual se insertan empresas como Dioxitek. En efecto, en este caso de estudio, son muy claras las relaciones entre el mundo académico, la industria y el Estado. La imagen de la triple hélice o del triángulo surge del mismo desarrollo histórico del proceso productivo en cuestión, primero con el Estado invirtiendo en tecnología e investigación a partir de lo actuado por la CNEA en los últimos setenta años; luego, en la vinculación de esos desarrollos con el mundo industrial; y, en este caso, resulta fundamental todo el andamiaje que posibilitaron esos logros a partir

del desarrollo de la metalurgia en el ámbito del organismo estatal y el Servicio de Asistencia a la Industria<sup>43</sup> como vinculación productiva.

En este aspecto, entonces, el concepto principal es el de innovación en contextos de economías basadas en el conocimiento. Y esta innovación es la que permite, entre otras cosas, fomentar el crecimiento económico a través del desarrollo de relaciones generativas, es decir, relaciones recíprocas libremente vinculadas e iniciativas conjuntas que persisten a lo largo del tiempo, y que dan lugar a cambios en el modo en que los agentes llegan a concebir su entorno y la manera de actuar dentro de él. De esta manera, y siguiendo a Mazzucato (2014), el sector público se transforma en un elemento esencial que dinamiza la economía y deviene en una de las fuentes de la innovación tecnológica.

Tampoco puede comprenderse el significado y la trayectoria de Dioxitek sin las transformaciones estructurales producidas en los años noventa y el relanzamiento del Plan Nuclear durante el gobierno de Néstor Kirchner, en 2006. Entre otras cosas, ese relanzamiento llevó a la empresa a plantear la necesidad de una nueva planta de producción de polvo de dióxido de uranio, teniendo en cuenta la puesta en marcha de la CNA II y la posible construcción de dos nuevas centrales. Esto significará, además, la continuidad de los trabajos de producción de agua pesada en la planta de Neuquén.

En definitiva, Dioxitek se convirtió en un factor clave dentro del Plan Nuclear Argentino al asegurar la provisión de polvo de dióxido de uranio a CONUAR para la fabricación de los EECC de las centrales nucleares.

---

<sup>43</sup> El 23 de marzo de 1961, la CNEA y la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA) firmaron un convenio para organizar un «servicio de asistencia y asesoramiento científico-tecnológico en problemas de metalurgia de transformación con el objeto de brindar asistencia técnica a la industria». De esta manera, se funda en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes (CAC) el Servicio de Asistencia a la Industria (SATI). Sus objetivos eran llevar a la industria los conocimientos y técnicas que, a través de la investigación básica y aplicada, facilitarían el acceso a una mejor información científica para ayudar a la industria a resolver sus problemas técnicos mediatos e inmediatos; además de crear un organismo ágil de consulta, que sirviera como núcleo de entrenamiento a fin de dotar al país de técnicas/os e ingenieras/os con bases rigurosas en diferentes aspectos de ingeniería metalúrgica.

En el caso de CONUAR, la decisión de conformar un emprendimiento público-privado resultó un acierto, ya que hizo posible concretar en hechos comerciales los desarrollos tecnológicos. El desarrollo de los EECC tuvo el claro objetivo de incorporar a la industria nacional. En efecto, se consiguió incorporar el conocimiento acumulado de la CNEA y el desarrollo de la industria argentina.

En resumen, cabe destacar que el desarrollo de tecnología no es consecuencia de un proceso lineal; que las decisiones tomadas para utilizar el conocimiento en una actividad determinada resultan fundamentales para lograr el *know how* necesario y comenzar a producir industrialmente; y que, en este caso, contar con empresas públicas (como INVAP, NA-SA, Dioxitek) y mixtas (como CONUAR) resulta clave.

## Referencias bibliográficas

- Almagro, J. C., Perazzo, R. y Sidelnik, J. (2017). *Crónica de una reparación (im) posible. El incidente de 1988 de la Central Nuclear Atucha I*. Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. <http://aargentinapnciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/LibrosDigitales/Cronica-de-una-reparacion-im-posible-Libro.pdf>
- Comisión Nacional de Energía atómica (1981). *Memoria y balance* (documento provisto por la empresa al autor).
- Comisión Nacional de Energía Atómica (2021). *Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina. Aniversario 20 años*. [https://www.cnea.gob.ar/nuclea/bitstream/handle/10665/1905/CNEA\\_SGPE\\_sintesis\\_MEM\\_2021-21\\_20Aniv.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.cnea.gob.ar/nuclea/bitstream/handle/10665/1905/CNEA_SGPE_sintesis_MEM_2021-21_20Aniv.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- De Dicco, R. (2013). *Breve historia de los reactores nucleares de investigación y producción de la CNEA*. Departamento de Tecnología Nuclear del CLICET.
- Dioxitek S.A. (2013-2018). *Memorias y balances generales al 31 de diciembre de cada año* (documentos provistos por la empresa al autor).
- Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (2000). The Dynamics of Innovation: from National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.
- Kozulj, R. y Lugones, M. (2007). INVAP y el desarrollo de una trama de base tecnológica: evolución histórica y situación actual. En M. Delfini, D. Dubbini,

- M. Lugones e I. Rivero (comps.), *Innovación y empleo en tramas productivas de la Argentina*. Universidad Nacional de General Sarmiento-Prometeo.
- Mazzucato, M. (2014). *El Estado emprendedor. Mitos del sector público frente al privado*. RBA.
- Nucleoeléctrica Argentina S.A. (2019). *Comunicación de progreso. Pacto mundial. Reporte integrado de Nucleoeléctrica Argentina S.A.*
- Nucleoeléctrica Argentina S.A. (2021). *Plan estratégico 2021-2030*.
- Porter, M. (1979). How Competitive Forces Shape Strategy. *Harvard Business Review*, 57(2), 137-145.
- Quilici, D. (2008). Desarrollo de proveedores para la industria nuclear argentina. Visión desde las Centrales Nucleares. *H-Industri@*, 2(2).
- Quilici, D. (2010). La fabricación de los elementos combustibles para los reactores nucleares de potencia en Argentina: un caso de inversiones productivas realizadas por un organismo de ciencia y técnica. *CNEA*, año 10, (37-38). <https://www.cnea.gov.ar/es/wp-content/uploads/files/combustibles.pdf>
- Quilici, D. y Spivak L'Hoste, A. S. (2018). Del «aprender haciendo» al cierre del ciclo con efecto demostración: la crónica del reprocesamiento de combustible nuclear en Argentina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 13(39), 33-57. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/93795>
- Sábato, J. y Botana, N. (2011). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. En J. Sábato (comp.), *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Ediciones Biblioteca Nacional.
- Seijo, G. y Cantero, J. (2012). ¿Cómo hacer un satélite espacial a partir de un reactor nuclear? Elogio de las tecnologías de investigación en INVAP. *Redes*, 18(35), 13-44. <https://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/552>
- Tanarro Sanz, A. y Tanarro Onrubia, A. (2008). Diccionario inglés-español sobre tecnología nuclear (2° ed.). Foro de la Industria Nuclear Española. <https://www.foronuclear.org/recursos/publicaciones/diccionario-tecnologia-nuclear-ingles-espanol>
- Thomas, H., Versino, M. y Lalouf, A. (2013). INVAP: una empresa nuclear y espacial argentina. En H. Thomas, G. Santos y M. Fressoli (comps.), *Innovar en Argentina. Seis trayectorias empresariales basadas en estrategias intensivas en conocimiento*. Lenguaje Claro.



- Zappino, J. (2021a). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 1. *Cuadernos del INAP*, 2(78). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/125>
- Zappino, J. (2021b). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 2. *Cuadernos del INAP*, 2(79). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/126>
- Zappino, J. (2022a). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP*, 3(84). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/134>
- Zappino, J. (2022b). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP*, 3(85). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/135>
- Zappino, J. (2022c). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV. El ciclo del combustible nuclear argentino: los casos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP*, 3(93). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/144>
- Zappino, J. (2022d). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV. El ciclo del combustible nuclear argentino: los casos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP*, 3(94). <https://publicaciones.inap.gob.ar/index.php/CUINAP/issue/view/145>

## Cómo citar este artículo

Zappino, J. (2022). El sector nuclear argentino: los casos de INVAP S.E., Nucleoeléctrica Argentina S.A., Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. *Estado Abierto. Revista sobre el Estado, la administración y las políticas públicas*, 7(1), agosto-noviembre, 131-179.

Fecha de recepción 07/2022 | Fecha de aprobación 09/2022