

# INAP

ISSN 2683-9644

# CUINAP | Argentina

Año 3 • 2022 | Cuadernos del INAP

**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

Jorge Salvador Zappino

# 94

Capacitar e investigar para fortalecer las capacidades estatales



# CUINAP | Argentina

**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

Jorge Salvador Zappino

94

## **Autoridades**

**Dr. Alberto Ángel Fernández**

Presidente de la Nación

**Dr. Juan Luis Manzur**

Jefe de Gabinete de Ministros

**Dra. Ana Gabriela Castellani**

Secretaria de Gestión y Empleo Público

**Lic. Mauro Emanuel Solano**

Director Institucional del INAP

# Índice

---

<b>Introducción</b>	<b>9</b>
<b>1 El ciclo del combustible nuclear</b>	<b>10</b>
<b>2 Características, historia y desarrollo de la empresa CONUAR S.A.</b>	<b>25</b>
<b>3 Tecnología y desarrollo en CONUAR S.A.</b>	<b>60</b>
<b>A modo de conclusión: los vínculos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. con el desarrollo tecnológico nacional</b>	<b>66</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>71</b>

---

## **Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV**



**Jorge  
Salvador  
Zappino**

---

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

## **Resumen**

Este trabajo es una continuación del análisis del ciclo del combustible nuclear en la Argentina. En la primera parte se realizó un repaso de la historia del desarrollo argentino de elementos combustibles nucleares (EECC), su división en fases y se ampliaron algunos conceptos. En este sentido, se analizaron las dos primeras fases, operadas por la empresa Dioxitek S.A. y se realizó una descripción de las principales características, la historia, el desarrollo y los conceptos clave que identifican a Dioxitek S.A. como un actor fundamental del ciclo del desarrollo nuclear en la Argentina.

En esta segunda parte 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. (tercera fase), Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) (cuarta fase) y NA-SA-Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) (quinta fase). Luego, analizamos las principales características, la historia y el desarrollo de CONUAR S.A. y los conceptos que hacen de esta empresa un actor relevante del ciclo del combustible nuclear en la Argentina. Finalmente, en las conclusiones, analizaremos los vínculos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. en conjunto con el desarrollo tecnológico nacional.

## **Palabras clave**

Energía nuclear, combustible nuclear, empresas públicas, tecnología, desarrollo, Dioxitek, CONUAR.

## **Abstract**

This work is a continuation of the analysis of the nuclear fuel cycle in Argentina. In the first part, a review of the history of the Argentine development of nuclear fuel elements (EECC), its division into phases, and some concepts about it was developed. In this sense, its first two phases,

operated by the company Dioxitek S.A., were analyzed, and a description of the main characteristics, history, development and those key concepts that identify said company as a key player in the nuclear development cycle in Argentina was made.

In this second part we develop some concepts about the three final phases of the nuclear fuel cycle, operated jointly by the company CONUAR S.A. (third phase), Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) (fourth phase) and NA-SA - National Atomic Energy Commission (CNEA) (fifth phase). Then, we analyze the main characteristics, history and development of CONUAR S.A. and those concepts that make this company a relevant player in the nuclear fuel cycle in Argentina. Finally, in the conclusions we will analyze the links of Dioxitek S.A. and CONUAR S.A., together with national technological development.

### **Key words**

Nuclear energy, Nuclear fuel, public companies, technology, development, Dioxitek, CONUAR.

## Introducción

Este trabajo es una continuación del análisis del ciclo del combustible nuclear en la Argentina. En la primera parte se realizó un repaso de la historia del desarrollo argentino de elementos combustibles nucleares (EECC), su división en fases y se detallaron algunos conceptos. En este sentido, se analizaron las dos primeras fases, operadas por la empresa Dioxitek S.A. y se realizó una descripción de las principales características, la historia, el desarrollo y los conceptos clave que identifican a Dioxitek S.A. como un actor fundamental del ciclo del desarrollo nuclear en Argentina<sup>1</sup>.

Esta segunda parte consta de una introducción, tres capítulos y una conclusión. En el capítulo 1, se introducen algunos conceptos acerca de las tres fases finales del ciclo del combustible nuclear, operadas en forma conjunta por la empresa CONUAR S.A. (tercera fase), Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) (cuarta fase) y NA-SA-Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) (quinta fase). En el capítulo 2, se analizan las principales características, la historia y el desarrollo de CONUAR S.A. En el capítulo 3, se profundizan sobre los conceptos que hacen de esta empresa un actor relevante del ciclo del combustible nuclear en la Argentina. Finalmente, en las conclusiones, se analizan los vínculos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. en conjunto con el desarrollo tecnológico nacional.

---

<sup>1</sup> Véase Zappino (2022a).

# 1

## El ciclo del combustible nuclear

El ciclo del combustible nuclear es el conjunto de operaciones que completan la producción del combustible utilizado por las centrales nucleares. Además, incluye el tratamiento del combustible gastado durante la operación de dichas centrales.

### 1.1 Fases del ciclo

El ciclo transcurre en cinco fases, a saber:

- **PROSPECCIÓN Y EXTRACCIÓN:** mediante técnicas geológicas de cateo, se determinan las zonas de donde es posible extraerlo. El modo de extracción de uranio es mediante trituración de la roca.
- **CONVERSIÓN:** consiste en la transformación de la roca de uranio a dióxido de uranio mediante un proceso químico que finaliza con el producto final que es el polvo de dióxido de uranio de pureza nuclear grado cerámico ( $UO_2$ ).
- **FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES (EECC):** el polvo de dióxido de uranio es prensado y sinterizado para su conversión en pastillas cerámicas, que luego serán colocadas en vainas formando varillas de combustible.
- **UTILIZACIÓN Y RECARGA DE LOS EECC:** las varillas de combustible se introducen dentro del núcleo de un reactor de potencia o de

investigación, en el cual se produce el proceso de fisión. Este proceso genera una reacción en cadena que produce calor. En el caso de los reactores de potencia, ese calor calienta el agua formando vapor, que moverá una turbina conectada a un generador, y se obtendrá así energía eléctrica<sup>2</sup>. El recambio de combustible es de tipo continuo mediante máquinas especiales.

- GESTIÓN DE LOS EECC «QUEMADOS»: una vez irradiados (proceso denominado «quemado») los EECC se llevan a piletas de decaimiento<sup>3</sup> y luego a un almacenamiento en seco. La gestión es jurisdicción de NA-SA, mientras que la disposición final o su reprocesamiento corresponde a la CNEA.

Las fases de prospección y extracción y la fase de conversión fueron tratadas en la primera parte de este trabajo (*Cuinap 93*). La fase de fabricación de los EECC se analizará en el apartado 2.2.

## 1.1.1 Fase de utilización y recarga de los EECC

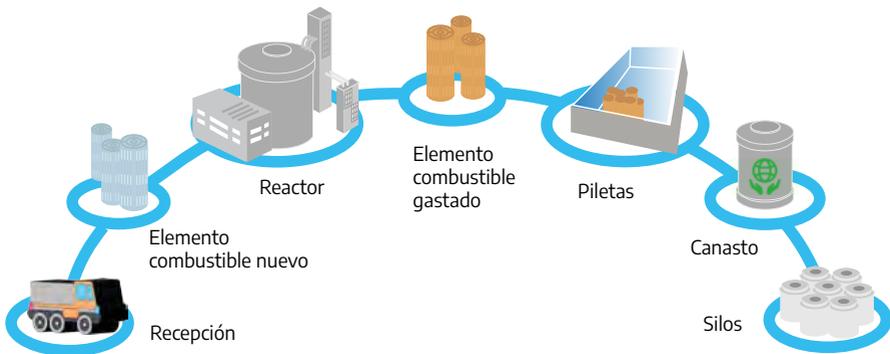
Los EECC fabricados por CONUAR S.A. son utilizados tanto en los reactores de investigación como en los reactores de potencia. En este trabajo no se analizará su uso en los primeros, sino que se describirá su utilización en los reactores de potencia que emplea el país para la generación de energía eléctrica. 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. En la Figura 1 se observa un diagrama del recorrido de los EECC en las centrales nucleares.

---

2 Este proceso se describe con más detalle en Zappino (2022b y 2022c).

3 Las piletas de decaimiento se usan para el enfriamiento inmediato de las barras de EECC, lo que permite que los isótopos de corta vida se descompongan y, por lo tanto, reduzcan la radiación ionizante que emana de las barras. El agua enfría el combustible y proporciona protección radiológica que evita su radiación (<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos>).

**Figura 1. Recorrido de los EECC en las centrales nucleares**



Fuente: ilustración proporcionada por M. Carbonell, CNE

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>4</sup>. La CNE, de tipo CANDU<sup>5</sup>, 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>6</sup> Este cambio ahorra, aproximadamente, un 40 % en cantidad de combustible, producto de una mayor permanencia

4 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 uranio-238, 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 uranio-235 y el plutonio-239 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)).

5 Se trata de un reactor de agua pesada presurizada (PHWR por sus siglas en inglés) diseñado a fines de los años 1950 y en los años 1960 por una asociación entre Atomic Energy of Canadá Limited (AECL) y la Hydro-Electric Power Commission of Ontario. El acrónimo «CANDU» es una marca registrada de Atomic Energy of Canadá Limited y proviene de la expresión «CANadá Deuterio Uranio», en referencia a su moderador de neutrones de óxido de deuterio (agua pesada) y su utilización de uranio natural como combustible (<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos>).

6 En lugar de un 0,7 % de  $^{235}\text{U}$  se utiliza un 0,85 %.

de los EECC en el reactor<sup>7</sup>. La Argentina está analizando la posibilidad de realizar este cambio también en la CNA II<sup>8</sup>. Las tres centrales utilizan agua pesada ( $D_2O$ )<sup>9</sup> como moderador.

Una vez que los EECC ingresan en las centrales (Figura 1), se verifica que estén en buenas condiciones<sup>10</sup> y se colocan en las denominadas piletas de combustible nuevo. Luego pasan a la máquina de carga que los ubica en el reactor. Respecto de las cantidades de combustible que requiere cada central, el Lic. Sidelnik, vicepresidente de NA-SA, aclara:

Todos los años, en función de la energía que queremos generar, las centrales tienen que parar. La Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) nos da una licencia por central sin la cual no podemos operar. Y, por diferentes situaciones con las centrales, nos obliga, por ejemplo, a parar la CNE cada 18 meses y cada 12 meses hacer una revisión programada. Eso nos lleva a que, si queremos operar, por ejemplo, a un factor de carga de 85<sup>11</sup>, necesitamos una cantidad

7 En una nota a Telam, Fernando Montserrat, de NA-SA, explica que un 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 Mw térmicos por día (<https://www.telam.com.ar/notas/201611/169527-uso-de-uranio-enriquecido-duplico-generacion-energia-atucha.html>).

8 En Atucha III, que será un reactor PWR, el combustible sería uranio enriquecido al 3 % o al 4 %. Y La Argentina no tiene esa posibilidad. En este caso se consigue uranio natural, una cantidad de una o una y media tonelada de uranio enriquecido al 3 %, se mezcla y ahí se continúa con uranio al 0,85 (J. Sidelnik, comunicación personal, 9 de septiembre de 2021).

9 El agua pesada ( $D_2O$ ) es una molécula de composición química equivalente al agua. Sin embargo, tiene una particularidad que la hace diferente: 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 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.fundacionaquae.org/agua-pesada>).

10 Se inspeccionan visualmente con registro de video.

11 Relación en tanto por ciento entre la energía eléctrica bruta producida en el período considerado (t) y la que hubiera podido ser producida a la potencia reconocida o nominal durante ese mismo período (potencia nominal x t).

determinada de combustible. En función de eso, nosotros tenemos una relación monopsonica<sup>12</sup> con CONUAR, a quien le decimos con anticipación cuánto combustible se necesita para cada central y, en función de eso, el uranio que está asociado. En este aspecto, se realiza un contrato marco y contratos anuales (J. Sidelnik, comunicación personal, 9 de septiembre de 2021).

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>13</sup>.

Para que arranque el reactor, se extraen las barras de control para 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 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.

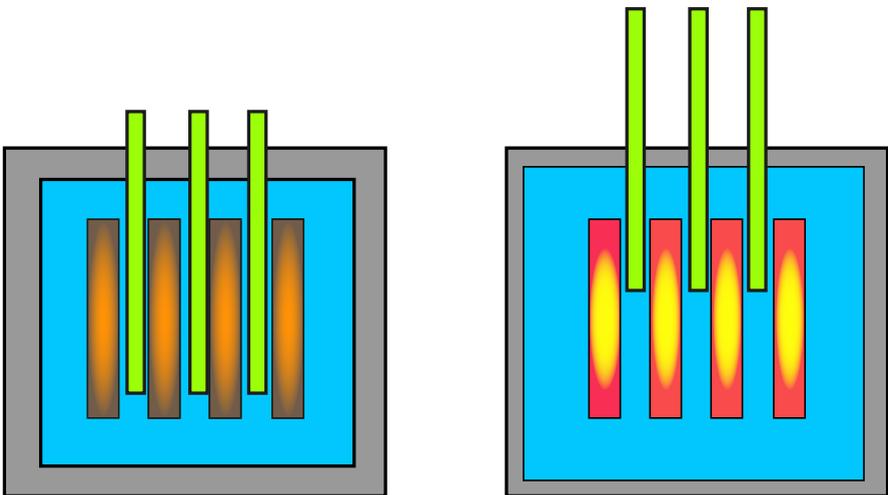
---

12 El monopsonio es una estructura de mercado en donde existe un único demandante o comprador y uno o más oferentes. En el caso argentino, el único demandante de EECC para centrales de potencia es NA-SA y el oferente es CONUAR S.A.

13 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).

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. En la Figura 2 se observa un esquema básico del funcionamiento de las barras. Este esquema corresponde a los reactores PWR. En los reactores PHWR que utiliza Argentina, las barras de control tienen un diámetro significativamente mayor que las barras de EECC.

**Figura 2. Esquema básico de funcionamiento de las barras de control**



Fuente: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Control\\_rod](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Control_rod)

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 activamente 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, 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>14</sup>.

Sobre el consumo de EECC de la CNA I y la CNA II, personal técnico de ambas centrales aclara:

La CNA I tiene un consumo aproximado de 0,7 elemento combustible (EC) por día de plena potencia. La CNA II tiene un consumo aproximado de 1,45 EC por día de plena potencia. Cada EC tiene 37 vainas de combustible que

---

14 Para más información, ingresar a <https://energia-nuclear.net/funcionamiento-central-nuclear/reactor-nuclear/barras-de-control>

contienen las pastillas de uranio. La CNA II nació ya con EECC de 37 barras. En cada canal de la CNE entran 12 EECC.

Hasta 2014, los EECC de la CNA I eran de 36 barras. La barra restante era estructural y estaba vacía. En ese año se cambió el diseño y se le colocó pastillas de uranio. El diseño lo realizó la CNEA, y CONUAR fabricó el nuevo EC. Esto también hace a la economía de operación, ya que tenemos más uranio en un mismo EC. Antes del ULE, la CNA I tenía un consumo similar al de la CNA II, es decir, 1,45 EC por día de plena potencia. Luego pasó a generar la misma potencia y consumir casi la mitad. Eso hace que sea necesario menos uranio en su totalidad, aunque se usa más  $^{235}\text{U}$ , pero en unidades significa muchas menos vainas, menos cabezales, menos desgaste de la máquina de carga y descarga, menos ocupación en las piletas de decaimiento, etc. (Personal técnico del Complejo Nuclear Atucha, comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

Respecto de los canales donde se ubican los EECC en los reactores de las distintas centrales, los técnicos aclaran:

En la CNA I, el diseño original tenía 253 canales. Luego del incidente de 1988<sup>15</sup>, un canal fue anulado. Posteriormente, los dos canales simétricos al anulado en 1988 se utilizaron para colocar mediciones de nivel en el circuito primario, con lo cual el recipiente del reactor quedó con 250 canales. En 2016 se pasó de 250 a 241 canales con EECC. En la CNA I y II existen la misma cantidad de EECC que canales pues la relación es 1 a 1. Nueve canales se dejaron sin EECC y con agua por una cuestión de extender la vida de la vasija del reactor. Se vaciaron los canales que están más cerca de la pared del reactor para bajar el flujo neutrónico que le llega y, de esa forma, extenderle la vida. El agua

---

15 Para un desarrollo de este incidente en la CNA I, ver Almagro, Perazzo y Sidelnik (2017).

frena la cantidad de neutrones y consecuentemente la cantidad de energía que llega a la pared del reactor. En el reactor de la CNA I, el diseño actual tiene 241 EECC. La CNA II tiene 451 (Personal técnico del Complejo Nuclear Atucha, comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

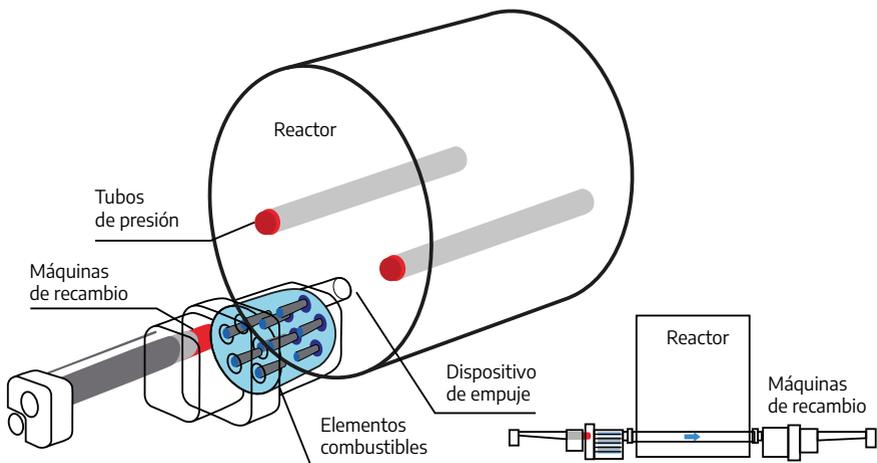
La ubicación de los EECC dentro de un reactor conforma un arreglo circular con una vaina central y cuatro coronas de vainas alrededor. Los EECC de la CNA I y de la CNA II tienen una longitud activa (de uranio) de 5,5 m. A esto se le agregan el cabezal y otros elementos que llevan la longitud a 6 m, aproximadamente. Los EECC de la CNE tienen una longitud de unos 50 cm. La diferencia entre la ubicación de los EECC en la CNA I, la CNA II y la CNE es que, en esta última se colocan en forma horizontal, mientras que, en las dos primeras, en forma vertical.

Acerca de la forma en que se cargan y descargan los EECC del reactor (Figura 3), el personal técnico de la CNA I y II describe el proceso:

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 la misma llega en sentido horizontal. En la CNE no existe esa «botella basculante» porque los EECC 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. El 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 cómo un robot al que el operador, 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 (Personal técnico del Complejo Nuclear Atucha, comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

**Figura 3. Esquema de una máquina de carga y recarga de EECC de la CNE**



Fuente: ilustración proporcionada por M. Carbonell, CNE

Una vez retirados del reactor, los EECC quemados se depositan en las piletas de decaimiento. Allí comienza la última fase del ciclo (tema que desarrollaremos en el próximo apartado).

## 1.1.2 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.

En este último caso, el proceso se denomina «reprocesamiento», en el cual, tras separar el uranio y el plutonio no quemados, quedan como residuos los productos de fisión. El uranio y el plutonio separados se reciclan en las fábricas de combustible como material fisionable, y se cierra así el ciclo del combustible nuclear. Los residuos —luego de unos años de enfriamiento— son solidificados y encapsulados en cilindros de acero inoxidable, y constituyen así los únicos residuos de alta radiactividad que se derivan del ciclo del combustible nuclear<sup>16</sup>.

Como se detalló en el apartado anterior, en la Argentina, los EECC quemados son depositados en piletas de decaimiento. 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 status jurídico de los EECC y estos pasarían a la órbita de la CNEA que establecería la disposición

---

<sup>16</sup> Para más información, ingresar a <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear/que-es-el-reproceso-y-donde-se-realiza>

final según la normativa vigente. Vale aclarar que el reprocesamiento requiere de una tecnología que no está disponible al día de hoy en la Argentina<sup>17</sup>.

Sidelnik aclara el proceso del EECC una vez utilizado:

Teóricamente, cuando la central entra en desmantelado, una vez cumplido su ciclo de vida, o aún antes, la gestión de ese combustible gastado ya no es responsabilidad de NA-SA, sino de la CNEA. Por la ley nuclear, la CNEA tiene la gestión de los residuos. Los residuos radiactivos están en un almacenamiento transitorio dentro de la central. La gestión final de almacenamiento es responsabilidad de CNEA. Hay muchas discusiones porque se produce plutonio. El plutonio es un combustible que se podría reutilizar, pero hay que reprocesarlo. No es fácil porque es radiotóxico. Existen países que realizan ese reprocesamiento. En la Argentina nunca se tomó una decisión sobre este tema. Por ahora es como un activo, en algún momento el Estado tendrá que decidir si se procesa todo como residuo o es una reserva estratégica de combustible, etc. (J. Sidelnik, comunicación personal, 9 de septiembre de 2021).

A mediados de los años noventa existió un proyecto para la creación de un repositorio en Gastre, Chubut, pero fue retirado por la masiva movilización popular que se oponía a que se construyera ese repositorio<sup>18</sup>.

Las tres centrales argentinas cuentan con piletas de decaimiento. Además, en la CNE existen silos de hormigón donde se depositan los EECC una

---

<sup>17</sup> Algunos aspectos históricos de los intentos de reprocesamiento en la Argentina pueden consultarse en Quilici y Spivak (2016).

<sup>18</sup> Más información sobre este proyecto en <https://agenciatierraviva.com.ar/historia-de-un-triunfo-a-25-anos-de-la-gran-marcha-a-gastre>

vez que se retiran de las piletas. El Lic. Carbonell, de la CNE, describe el procedimiento que se lleva a cabo en esa central de la siguiente manera:

Desde el inicio de sus operaciones en 1984, la CNE, tanto de su primer ciclo de vida hasta 2015 como de su segundo ciclo iniciado en 2019, utilizó solamente una piletta de almacenamiento transitorio de EECC quemados, la cual tiene 14 m de profundidad. Allí se sumergen en agua desmineralizada. Cuando se completaron las capacidades de almacenamiento de esa piletta, a finales de la década de los noventa, se incorporó el proyecto de almacenamiento en seco. Una vez transcurridos siete años debajo del agua, se los retira, se colocan en unos contenedores especiales con blindaje y pasan a una fase donde se los seca en un horno especial sellado para eliminar cualquier rastro de agua de la piletta. Cuando están secos, se retiran del contenedor y se llevan a un sitio donde hay silos de unos 9 m de altura con hormigón de hasta 80 cm de espesor. Dentro de esos silos se colocan, uno encima del otro, nueve contenedores con 60 EECC quemados cada uno. En la parte superior del silo se asegura la tapa, que queda soldada. Esa soldadura tiene un código y los silos están monitoreados permanentemente por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)<sup>19</sup> y la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABBAC)<sup>20</sup> con cámaras ubicadas en el predio. Con esta solución transitoria de los silos, la CNE trabaja con una sola piletta. Por campaña se llenan entre 4 y 5 silos. El espacio físico que ocupan los silos es de aproximadamente el tamaño de dos canchas de fútbol profesional. Ya existen más de 250 silos. Y hay espacio suficiente para construir los que sean necesarios hasta que la central finalice su vida útil del segundo ciclo de vida. Los silos están dentro del predio de la central. En cuestiones de seguridad, estos silos no corren peligro, ya que, por ejemplo,

---

19 Información sobre este organismo disponible en <https://www.iaea.org/es>

20 Información sobre la agencia disponible en <https://www.abacc.org.br/en>

el espacio aéreo comercial y civil está vedado sobre la planta (M. Carbonell, comunicación personal, 25 de noviembre de 2021).

Existen proyectos para construir almacenamientos en seco para la CNA I y la CNA II<sup>21</sup>. La CNEA tiene en ejecución el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR), responsable de la gestión segura de los residuos radiactivos y los combustibles gastados provenientes de todas las actividades nucleares que se realizan en el país. Las pautas para su tratamiento son las mismas que se aplican en los residuos de cualquier otra clase: caracterización, clasificación, separación, reducción de volumen y reutilización de aquello que sea posible.

La caracterización implica medir las propiedades físicas, como el volumen y el peso; la composición química y las propiedades radiológicas (la actividad de los elementos) de los residuos. Una vez determinadas sus características, es posible establecer el proceso de gestión y el sistema de disposición adecuado.

La gestión se orienta a reducir los volúmenes (por ejemplo, por medio de la compactación) y a inmovilizar los residuos. Para ello, se los puede incluir dentro de diversas sustancias, como polímeros, asfalto (por un proceso denominado *bituminización*), vidrio o cemento. Para almacenar los residuos se los envasa en contenedores metálicos especiales. En el CAE, el PNGRR cuenta con un predio destinado al tratamiento, el acondicionamiento y el almacenamiento interino de los residuos producidos por los pequeños generadores. También se almacenan allí las fuentes medicinales e industriales en desuso. Durante todo ese proceso se aplican los principios de protección

---

<sup>21</sup> Sobre este tema, véase Zappino (2022c).

radiológica con el objetivo de minimizar las dosis de exposición a las radiaciones en cada una de las prácticas.

El PNGRR cuenta con instalaciones especialmente adecuadas para llevar adelante las diferentes etapas de la gestión. Además, elabora información para el Poder Legislativo, la comunidad científica nacional e internacional y el público en general<sup>22</sup>.

El país cuenta con una serie de leyes promulgadas por los órganos legislativos nacionales y provinciales que regulan las actividades nucleares en general y la gestión de residuos radiactivos en particular. Además, la ARN fija el marco normativo que garantiza la seguridad de las instalaciones y tareas en todo el territorio nacional<sup>23</sup>.

---

22 Para más información, ingresar a [www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/programa-nacional-de-gestion-de-residuos-radiactivos](http://www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/programa-nacional-de-gestion-de-residuos-radiactivos)

23 Entre las leyes nacionales más importantes, se encuentran la Ley 24.804/97 de Actividad Nuclear, que designa a la CNEA como responsable de la gestión de los residuos radiactivos y de los combustibles nucleares gastados y del desmantelamiento de las instalaciones nucleares. La Ley 25.018/98 de Gestión de Residuos Radiactivos, que crea el PNGRR y establece sus potestades y responsabilidades. Asimismo, la Argentina se adhirió a la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de los Desechos Radiactivos, un tratado internacional que establece criterios para la gestión segura y que compromete al país a implementar procesos de mejora continua, a informar periódicamente al resto de los estados miembros sobre sus estrategias de gestión y a someterse a la revisión de los demás países. La Argentina elabora informes anuales en este tema, que pueden consultarse en <https://www.argentina.gob.ar/arn/informe-nacional-la-convencion-conjunta>

## Características, historia y desarrollo de la empresa CONUAR S.A.

En la primera parte del trabajo realizamos un resumen de los orígenes de la fabricación local de los EECC para las centrales nucleoelectricas. La CNEA tomó la decisión de fabricar los EECC en el país incluso antes de la construcción de la CNA I, para ello, adquiere una planta «llave en mano» a una empresa alemana que se instalará en la ciudad de Córdoba. Esta planta continúa hasta el presente con el nombre de Dioxitek S.A. (tema que se profundizó en la primera parte). Además, para completar el ciclo de suministro del combustible, la CNEA se abocó a los trabajos para el armado de los componentes estructurales, que serían fabricados con una aleación de circonio. A partir del circonio se obtiene el zircaloy: la aleación final que se emplea en las vainas para ensamblar los EECC.

Por un lado, entre los años 1975 y 1976 surge el antecedente inmediato de CONUAR S.A., que es la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN) que se instaló en Ezeiza. Por otro lado, la CNEA crearía 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 (Quilici, 2008).

Finalmente, en 1981 la CNEA comenzaría 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.), cuya historia y desarrollo trataremos a continuación.

## 2.1 Caracterización, trayectoria y proyectos de CONUAR

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 el socio debía ser de capital local y de origen nacional. En ese momento la oferta la ganó una empresa que representaba a la siderúrgica TAMET<sup>24</sup>. Más tarde, esta última es relevada, ya que ingresa en convocatoria de acreedores, por la empresa EMA S.A. (Electromecánica Argentina) que pertenecía a SADE<sup>25</sup> del Grupo Pérez Companc. Cuando se estaba formalizando el contrato, se conoce que un 5 % de las acciones de SADE pertenecían a General Electric de los Estados Unidos y, por lo tanto, que estaba inhabilitada por lo establecido en los pliegos. Así se forma la

---

24 Talleres Metalúrgicos San Martín. Sus orígenes se remontan a 1830, aunque su nombre nace en 1909, tras la fusión de varias empresas siderúrgicas. Tamet 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, tanto lisos como de púas, y alambres de talones de neumáticos para automóviles y camiones. Su primer presidente fue el Ing. Luis Huergo, diploma N.º 1 de ingeniero argentino. En 1926 adquiere la «Compañía Argentina de Hierros y Aceros Pedro Vasena e Hijos Ltda.» cerrando un ciclo de casi veinticinco años de feroz competencia entre ambas compañías, convirtiéndola en la empresa metalúrgica más importante de la América del Sud y en uno de los colosos industriales del país. TAMET cerró durante el proceso de desindustrialización iniciado en la década de los setenta.

25 SADE fue fundada en Buenos Aires en 1947 por Epaminonda Mattòli y un grupo de italianos emigrados a Sudamérica durante la postguerra. En sus comienzos se estableció en una pequeña oficina en la calle Lavalle 3, en Buenos Aires, teniendo como principal objetivo en ese entonces el proyecto y montaje de centrales eléctricas, subestaciones de transformación y tendidos de líneas de transmisión y distribución de electricidad (de allí su denominación, Sociedad Argentina de Electrificación, que en el futuro dejaría de ser una sigla para convertirse en simplemente un nombre: SADE). La empresa estableció una filial en Milán, denominada SADELMI, constituyéndose ambas en el núcleo original de lo que luego sería el Grupo internacional SADE-SADELMI (Buenos Aires - Milán - Nueva York). En 1976, la mayoría accionaria de General Electric en SADE fue adquirida por el Grupo Pérez Companc.

empresa PECON NUCLEAR que pertenecía exclusivamente al Grupo Pérez Companc. El 31 de mayo de 1981 se produjo la recepción final de la obra civil, instalaciones auxiliares e 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 inoxidables especiales y polvo de dióxido de uranio— (CNEA, 1981).

El 26 de octubre de 1981 se crea la empresa Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR S.A.) mediante el Decreto 719/81, por el cual se autoriza 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 acuerda que el paquete accionario quede 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 de conocimiento científico y desarrollo de procesos productivos avanzados, el Grupo Pérez Companc se hacía cargo de la industrialización y la gestión productiva.

Sobre los orígenes de la empresa, su gerente general, el Ing. Schroeder aclara:

CONUAR S.A. fue creada en el año 1981 como una empresa producto de una sociedad entre la CNEA y el Grupo Pérez Companc, donde la mayoría accionaria es del grupo privado y la empresa es de gestión privada. En 2022 cumplimos 40 años de vida, desde el 2 de abril de 1982. Se trató de una iniciativa de la CNEA, que ya había comenzado con su proyecto de autonomía en el ciclo del combustible nuclear. Ya estaba operando una central, la CNA I, y venía trabajando en el desarrollo de la tecnología de fabricación de los EECC. Una vez logrado ese desarrollo tecnológico en una instancia como para pasar a

una escala industrial, la CNEA decide que la actividad industrial fuera llevada a cabo por una empresa de mayoría privada y para eso convocó a una licitación. Finalmente, el Grupo Pérez Companc ganó dicha licitación y quedó a cargo de la gestión de la empresa junto con la CNEA como socio tecnológico. Pérez Companc aporta el know how industrial. Y así funcionamos los cuarenta años, con un modelo que entendemos exitoso, con actividad continua, donde los combustibles se han fabricado en el país, primero para la CNA I, luego para la CNE y actualmente también para la CNA II, el CAREM y el RA-3. La relación entre los socios durante estos cuarenta años fue impecable siempre, aun en los contextos cambiantes de la realidad argentina (P. Schroeder, comunicación personal, 6 de mayo de 2022).

CONUAR comenzó su producción los primeros meses de 1982 inicialmente para abastecer la demanda de combustible de la CNA I. La planta, situada en el CAE, abarca una superficie de 11.600 m<sup>2</sup> (CNEA, 1982).

Quilici (2010) afirma que el Estatuto de la empresa le daba a la CNEA el derecho de elección del presidente y vicepresidente del directorio y la posibilidad de acuerdo para el cubrir el cargo de gerente de control de calidad. La CNEA tenía poder de veto sobre aquellas acciones de compra de *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. La relación entre los socios se establecía mediante dos contratos: el «Contrato de Fabricación y Suministro» y el «Contrato de Compras». La CNEA era la compradora de los EECC y las compras se realizaban para el suministro de aproximadamente un año. En el «Contrato de Fabricación y Suministro» se estableció un número base de EECC anuales, los que debían demandar las centrales en operación normal, que servía para los cálculos de los gastos fijos y semifijos, con el fin de determinar el precio del combustible. Se establecía, además, que el precio de venta de

cada «Contrato de Compra» de EECC incluiría una retribución «al esfuerzo empresario» del 9 % sobre los costos de fabricación. El «Contrato de Fabricación y Suministro» era por 20 años y a costo abierto. La CNEA cobró un *royalty* a CONUAR por el uso de la tecnología. También se establecía que la empresa le pagase a la CNEA el alquiler de las instalaciones, el cual se prorratearía por línea de fabricación, a medida que estas fuesen entrando en producción<sup>26</sup>. Además, la CNEA se reservaba la ingeniería del producto, el acceso a la tecnología y la posibilidad de aceptaciones y rechazos por desviaciones de fabricación. El personal técnico inicial era, casi totalmente, de la planta piloto de la CNEA.

La compañía posee, actualmente, cuatro unidades de negocios: Combustibles Nucleares, Fabricación de Aleaciones Especiales (FAE), SMS-Fabricación de Componentes y SMS 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 (este tema será tratado en el apartado 2.2). 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.

Por un lado, CONUAR colabora en el proyecto CAREM<sup>27</sup>, primer reactor nuclear de potencia diseñado por la CNEA. Para dicho proyecto, la empresa ha

26 Por ejemplo, con la fabricación de la línea CNA I se pagaba el 26 % del valor del alquiler (Quilici, 2010).

27 Para un desarrollo de este proyecto, véase Zappino (2022c).

fabricado el *liner*<sup>28</sup> metálico 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 partes y 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 tubos son fabricados de acuerdo con los lineamientos del EPRI (Electric Power Research Institute)<sup>29</sup> 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. En la Figura 4 pueden verse los tubos Alloy 690.

---

28 El *liner* tiene un diámetro de 19 m, 8,6 m de altura y pesa aproximadamente 100 tn. Entre otros componentes contiene al vano de equipos, el robot para 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/>).

29 Fundado en 1972, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) es la principal organización de investigación y desarrollo de energía independiente y sin fines de lucro del mundo. Colabora con más de 450 empresas en 45 países, impulsando la innovación para garantizar que el público tenga un acceso limpio, seguro, confiable, asequible y equitativo a la electricidad (<https://www.epri.com>).

Figura 4. Tubos sin costura Alloy 690



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/productos-fae>)

Entre los principales clientes de CONUAR se encuentran CNEA, NA-SA, INVAP, Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E (ENSI S.E), Aerolíneas Argentinas y Dioxitek S.A. (Argentina), International Atomic Energy Agency (Austria), Belgian Nuclear Research Centre (Bélgica), Electrobras-Electronuclear para Central Nuclear ANGRA I (Brasil), AECL y CAMECO (Canadá), REVISS (Inglaterra), Paul Scherrer Institute (Suiza), Joint Research Centre y Institute for Transuranium Elements (Unión Europea)<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> Para más información sobre este tema, puede consultarse: [www.conuar.com](http://www.conuar.com)

## 2.1.1 Otros proyectos donde interviene o intervino CONUAR

### 2.1.1.1 Proyecto de extensión de vida de la CNE<sup>31</sup>

En el marco de este proyecto, 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 de CONUAR con la CNE ocurre desde el inicio de las operaciones de esta central. En 1984 la empresa firma un contrato con la CNEA, en el marco del proyecto SUCOEM<sup>32</sup> 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 Point Lepreau<sup>33</sup> en Canadá.

Sobre los trabajos de CONUAR para este proyecto, el Ing. Schroeder informa que

Una innovación importante de los últimos 15 años, a partir de 2006, cuando se relanza el Plan Nuclear, fuimos desarrollando y creciendo fuertemente en una división que llamamos Soluciones de Manufactura y Servicios SM&S, que se dedica a la fabricación y el montaje de componentes y partes de reactores

---

31 Véase Zappino (2022b).

32 Suministro Combustible para Embalse.

33 La central nuclear de Point Lepreau está situada en la ciudad canadiense de Point Lepreau, Nuevo Brunswick. El nombre de la instalación procede del promontorio situado en la parte más occidental de Saint John County en el cual está situada. La instalación se construyó entre 1975-1983 por la corporación provincial de la Corona NB Power. Point Lepreau es la única instalación nuclear ubicada en el Canadá oriental y está compuesta por un reactor CANDU situado en la orilla norte de la bahía de Fundy, con una potencia total de salida de 640 MW (capacidad neta) y 680 MW (bruto por neto).

e instalaciones nucleares. El proyecto más relevante que llevamos a cabo fue la extensión de vida de la CNE. Allí se reemplazaron casi todos los internos del reactor nuclear, fabricados por CONUAR, se conservaron únicamente la «calandria» (carcaza). Los generadores de vapor fueron fabricados por IMPSA. Para esto fue necesario realizar todo un proceso de inversión y desarrollo de tecnología, obtención de certificaciones de sistemas de calidad, como el ASME 3 y, finalmente, lograr la calificación con el diseñador original de la central que es la empresa canadiense continuadora de AECL, que fue la que vendió la central original. Es decir, hay un reactor nuclear de potencia que, por primera vez en la Argentina, opera con todos los componentes fabricados localmente (P. Schroeder, comunicación personal, 6 de mayo de 2022).

### 2.1.1.2 Trabajos para la CNA I

En 1983 se propusieron cambios en el diseño de los EECC. Además, CONUAR suministra a dicha central de servicios y componentes varios, entre los cuales 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 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<sup>34</sup>.

34 Sobre los proyectos de Almacenamiento en Seco de Elementos Combustibles Quemados ASECQ1 y ASECQ2, véase Zappino (2022c).

En 1988 CONUAR participó de la elaboración, en colaboración con la CNEA, de dispositivos y componentes para la reparación de la CNA I<sup>35</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 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 un gran ahorro de divisas por sustitución de importaciones.

### **2.1.1.3 Trabajos para la CNA II**

Los trabajos de CONUAR en esta central comenzaron en 2007 cuando se firmó un contrato con NA-SA para la modificación y ensamble de 120 canales refrigerantes de combustible. En 2013, técnicos de CONUAR realizaron una inspección del sistema de transporte y carga de los EECC y participaron de la primera carga de los 451 EECC que conformaron 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.

---

35 Para una descripción del proceso de reparación de la CNA I en 1988, véase Almagro, Perazzo y Sidelnik (2017).

#### 2.1.1.4 Otros servicios prestados por CONUAR

- Soluciones integradas para una completa trazabilidad de la calidad de los productos.
- Servicios a centrales, reactores e instalaciones nucleares según requerimientos específicos.
- Desarrollo de negocios, gestión, monitoreo y evaluación de proyectos, gestión de la calidad e impacto ambiental, laboratorios físicos y químicos, servicios de inspección manual y a control remoto de tubos y componentes no ferromagnéticos, metrología y detección de fallas y pruebas de ultrasonido tridimensional<sup>36</sup>.

### 2.1.2 Negocios internacionales

En 2004, CONUAR suministró componentes para el reactor que la empresa INVAP estaba construyendo para la Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO)<sup>37</sup>.

CONUAR mantiene una estrecha relación con los sucesores de AECL<sup>38</sup>, ya que dicha empresa se retiró del mercado hace varios años. En 2006 CONUAR fue precalificada por esa empresa para la fabricación de herramental para el «retubado» de centrales nucleares tipo CANDU, tarea que se realiza durante la parada para la extensión de vida en este tipo de reactores.

Además, CONUAR desarrolla procesos de fabricación y calificación por las empresas continuadoras de AECL de tubos de calandria, terminales de tubos, tubos de presión y otras piezas críticas que se utilizaron para

---

36 Para más información sobre este tema: [www.conuar.com](http://www.conuar.com)

37 Para más información sobre ANSTO: <https://www.ansto.gov.au>

38 AECL fue la empresa diseñadora y constructora del reactor de la CNE.

reemplazo durante los trabajos de extensión de vida de la CNE y en otras centrales similares (Figura 5).

**Figura 5. Tubos de presión (sin costura) y tubos de calandria (con costura) de aleaciones de circonio para reactores de tipo CANDU**



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/productos-fae/>)

A su vez, la empresa fabricó para AECL nueve contenedores de transferencia de materiales radioactivos radiológicamente activos provenientes del desarme de la Central Nuclear canadiense Point Lepreau, en 2007.

En 2011 CONUAR obtiene la calificación final para la fabricación de diversos componentes nucleares por parte de AECL y NA-SA. Esta calificación, sumada a la certificación ASME (American Society of Mechanical Engineers)<sup>39</sup>, eran requerimientos indispensables para que NA-SA concretara las órdenes de compra en el marco del proyecto de extensión de vida de la CNE. Este

---

39 ASME es una organización de membresía sin fines de lucro que permite la colaboración y el intercambio de conocimientos en todas las disciplinas de ingeniería, con el objetivo de ayudar a la comunidad mundial de ingenieros en el desarrollo de soluciones para beneficiar vidas y medios de subsistencia. Fundada en 1880, ASME ha crecido a lo largo de los años para incluir a más de 130.000 miembros en 158 países (<https://www.techstreet.com/publishers/asm>).

proceso convirtió, en ese momento, a CONUAR en una de las dos empresas argentinas con esta certificación y la segunda en América del Sur<sup>40</sup>.

En 2016 se produce otro logro cuando CONUAR consigue la incorporación como miembro permanente de la Organization of Canadian Nuclear Industries (OCNI)<sup>41</sup>. Esta membresía llevó a la empresa a participar asiduamente de distintos eventos organizados en Canadá, como OPG Suppliers Day, en el cual se divulgan las capacidades como proveedor de centrales nucleares de tecnología CANDU.

Gracias a la especialización en reactores CANDU, FAE S.A., empresa del grupo CONUAR, ganó una licitación internacional realizada por la empresa Bharat Heavy Eléctricas Limited (BHEL)<sup>42</sup>, de la India, para proveerle 60.000 m de tubos de incoloy 800 para generadores de vapor nucleares de reactor tipo CANDU. Durante 2019 se concretó la exportación que dio cumplimiento al mayor contrato de exportación en la historia de esta unidad de negocios, por la que FAE recibió el premio Exportar 2019 en la categoría de Innovación en la Exportación de la Agencia de Inversiones y Comercio Internacional<sup>43</sup>. También se halla en negociaciones para proveer tubos de presión a la empresa Bruce Power<sup>44</sup> de Canadá.

---

40 La otra empresa era IMPSA.

41 Para más información sobre este tema: <https://www.ocni.ca>

42 BHEL es una de las mayores empresas de ingeniería en la India dedicada al diseño, la ingeniería, la construcción, las pruebas, la puesta en servicio y el mantenimiento de una amplia gama de productos y servicios para satisfacer las necesidades de los sectores básicos de la economía (<https://www.bhel.com>).

43 Para más información, ingresar a <https://www.inversionycomercio.org.ar/quienes-somos>

44 Bruce Power es una sociedad de propiedad canadiense de TC Energy, Ontario Municipal Employees Retirement Systems (OMERS), Power Workers' Union y The Society of United Professionals. Establecida en 2001, es el único generador nuclear del sector privado de Canadá y produce anualmente el 30 % de la energía de Ontario (<https://www.brucepowers.com/about-us>).

En 2019 CONUAR presentó múltiples ofertas para el suministro de tubos curvados de diferentes aleaciones de acero inoxidable para el reemplazo de intercambiadores de calor a la empresa estadounidense BWXT<sup>45</sup>. Esta exportación se suma a la participación en licitaciones para proveer de esos materiales a la empresa BHEL de la India.

Por último, CONUAR fabricó los EECC para el reactor de investigación de baja energía LPRR vendido por INVAP al Reino de Arabia Saudita en 2019.

### 2.1.3 Gestión del medio ambiente

Un aspecto importante es la Política de Gestión de Medio Ambiente, Calidad, Seguridad y Salud Ocupacional, que le permite a la empresa prevenir, controlar y minimizar los impactos ambientales de sus actividades, con el objetivo de preservar el medio ambiente y prevenir la contaminación. Además, incluye la prevención, el control y la minimización de los riesgos de potenciales accidentes en el desarrollo de sus actividades, con el objetivo de preservar la salud de las personas que realizan tareas en el ámbito de la empresa. Para el cumplimiento de estos objetivos, CONUAR promueve la capacitación y el entrenamiento continuo de sus empleados e impulsa la innovación en todas sus actividades.

En cuanto a los aspectos productivos, CONUAR cuenta con diferentes certificaciones nacionales e internacionales entre las que se encuentran las ISO 9001, 14001 y 45001 para los aspectos de gestión de calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional.

---

45 BWX Technologies, Inc. (BWXT) es una empresa de componentes y combustibles nucleares para el gobierno de los EE.UU. Suministra componentes fabricados con precisión, servicios y combustible CANDU para la industria de la energía nuclear comercial (<https://www.bwxt.com/about>).

Además, cuenta con diversas certificaciones ASME para los sistemas de control y aseguramiento de la calidad de componentes, recipientes, soportes y montajes.

## **2.2 Fabricación de los EECC**

Cuando el polvo de dióxido de uranio proveniente de Dioxitek S.A. ingresa a la planta de Ezeiza, comienza 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. En la Figura 6 pueden verse las pastillas de uranio terminadas.

**Figura 6. Pastillas de uranio**



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos/>)

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>46</sup>, deben ser mínimas.

Las vainas (componente estructural) son tubos, de algo más de 10 mm de diámetro, contruidos con una aleación de zircaloy. En las figuras siguientes pueden verse los EECC de las CNA I y II (Figura 7), de la CNE (Figura 8), del reactor CAREM (Figura 9) y de reactores de investigación (Figura 10), y en la Figura 11 se observa uno de los componentes estructurales con los que se arman los EECC.

---

46 Una falla es, por ejemplo, que presente 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.

Figura 7. EECC de las CNA I y II



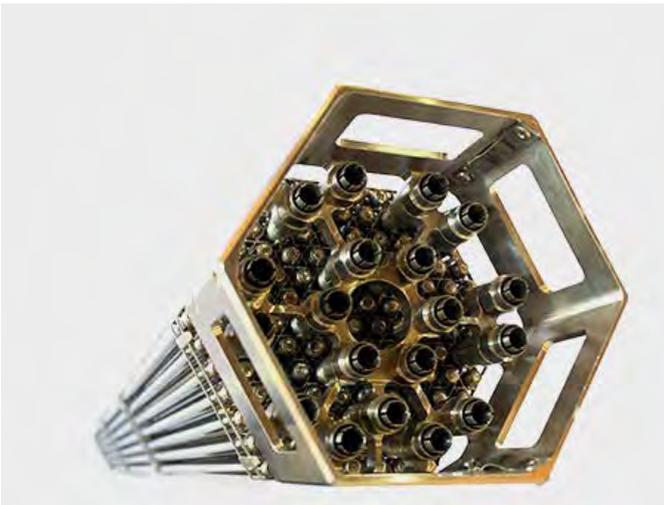
Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos>)

Figura 8. EECC de la CNE



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos/>)

Figura 9. EECC del reactor CAREM



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos/>)

Figura 10. Reactores de investigación



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos/>)

Figura 11. Componentes estructurales



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos/>)

## 2.2.1 Las cifras de producción

Como dijimos, cada uno de los EECC está compuesto por un manajo de tubos de zircaloy que contienen las pastillas de uranio, además de otros componentes necesarios para el armado final.

Además, en 2000 se cambió el uranio natural por uranio levemente enriquecido (ULE) al 0,85 % para la CNA I. En la Tabla 1 se muestra la cantidad de uranio natural y ULE para los EECC de cada central.

**Tabla 1. Consumo de uranio natural y ULE por EECC de cada central nuclear (en kg)**

Central	Uranio natural	ULE
CNA I	155	155
CNA II	189	n/c
CNE	19	n/c

Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

En la Tabla 2 se muestran la cantidad y la longitud de los tubos de zircaloy por EECC para cada central nuclear (en metros).

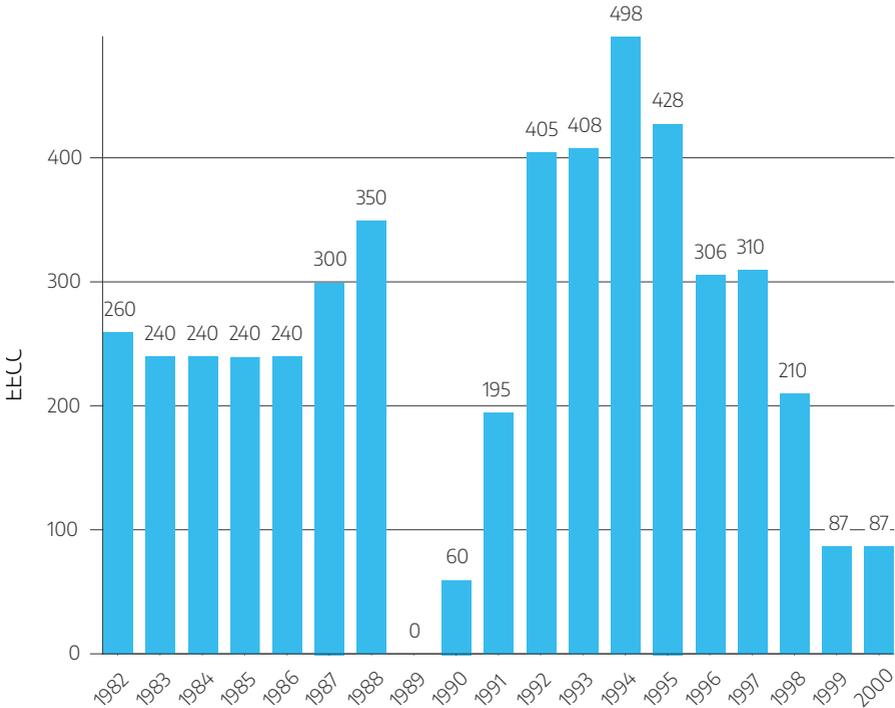
**Tabla 2. Cantidad y longitud de los tubos de zircaloy para cada central nuclear (en unidades y metros lineales)**

Central	Cantidad de tubos	Longitud
CNA I (uranio natural)	36	0,5
CNA I (ULE)	37	0,5
CNE	37	0,5
CNA II	37	0,5

Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

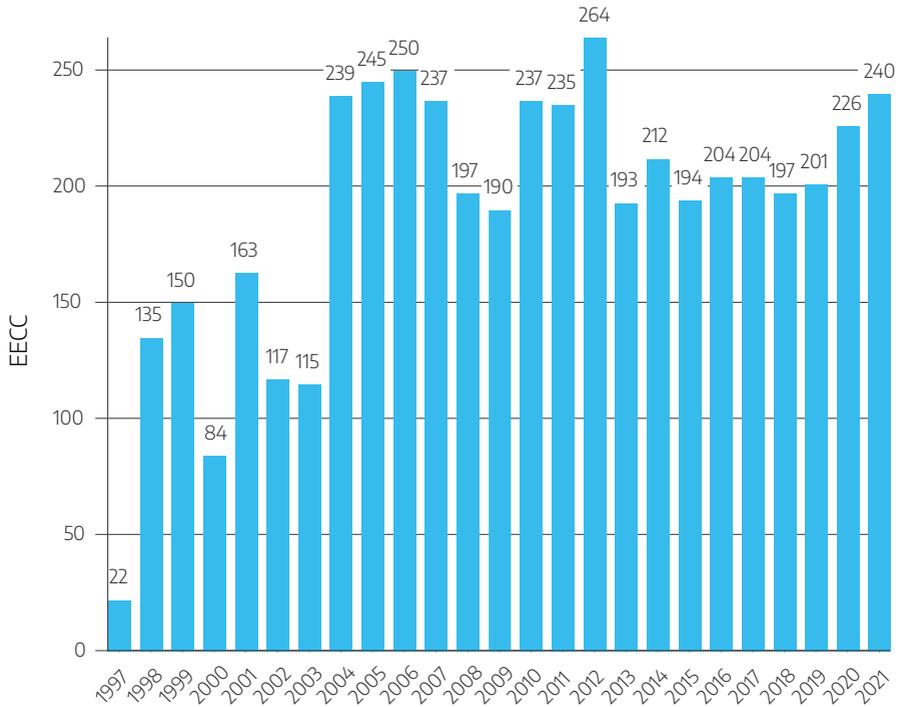
Las cantidades de EECC por tipo y central nuclear producidas por CONUAR en sus 40 años de operaciones se muestran en los gráficos 1 a 4. Además, el consumo de uranio para esa producción se muestra en los gráficos 5 y 6. Por último, la cantidad de metros lineales de tubos de zircaloy utilizados para esa producción se muestra en el Gráfico 7.

**Gráfico 1. Cantidad de EECC de uranio natural fabricados para la CNA I (1982-2000)**



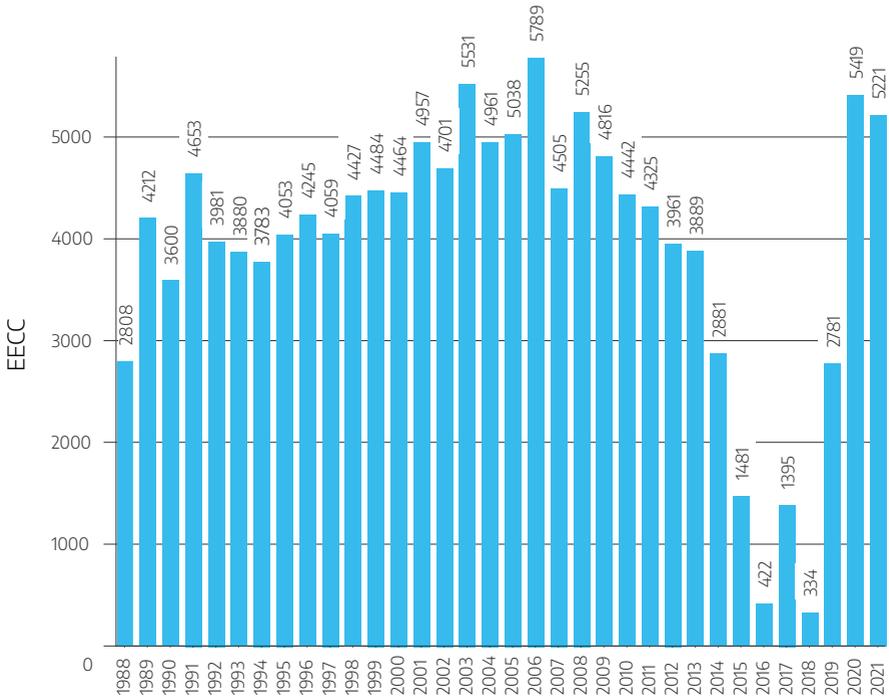
Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

### Gráfico 2. Cantidad de EECC de ULE fabricados para la CNA I (1997-2021)



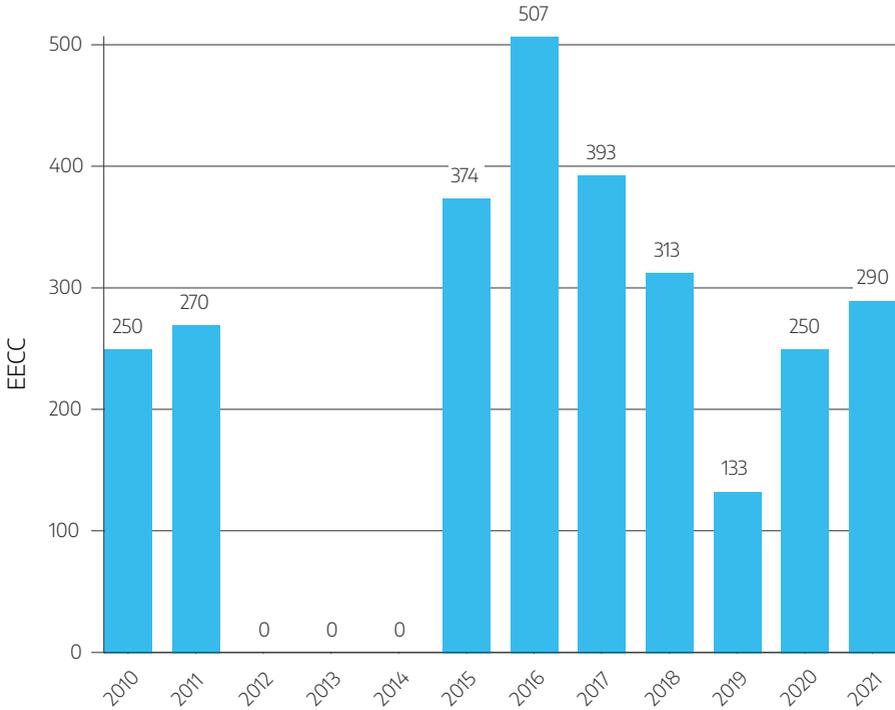
Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

**Gráfico 3. Cantidad de EECC de uranio natural fabricados para la CNE (1988-2021)**



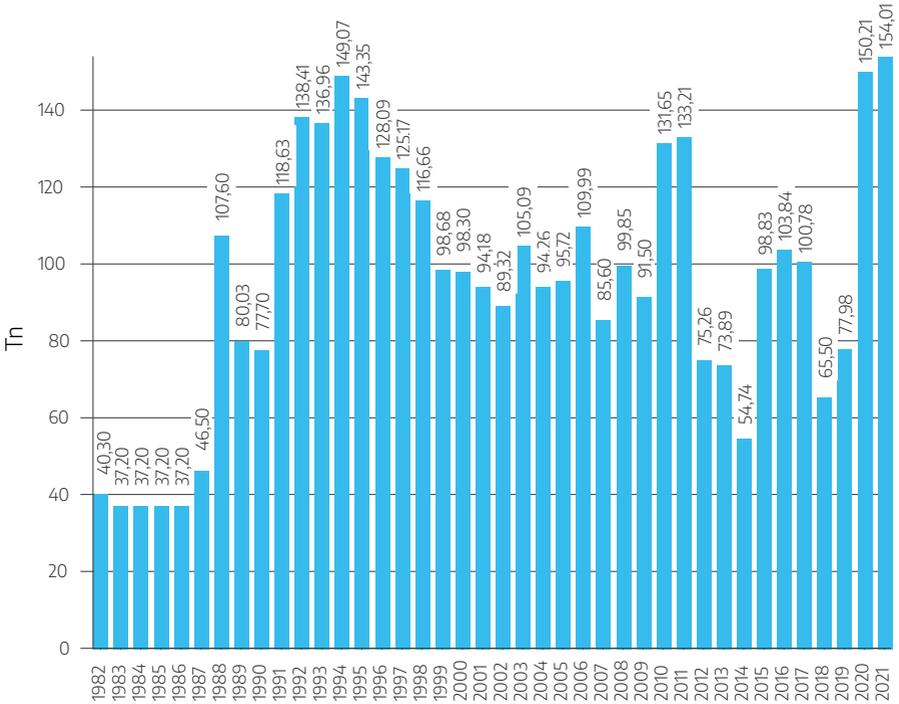
Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

**Gráfico 4. Cantidad de EECC de uranio natural fabricados para la CNA II (2010-2021)**



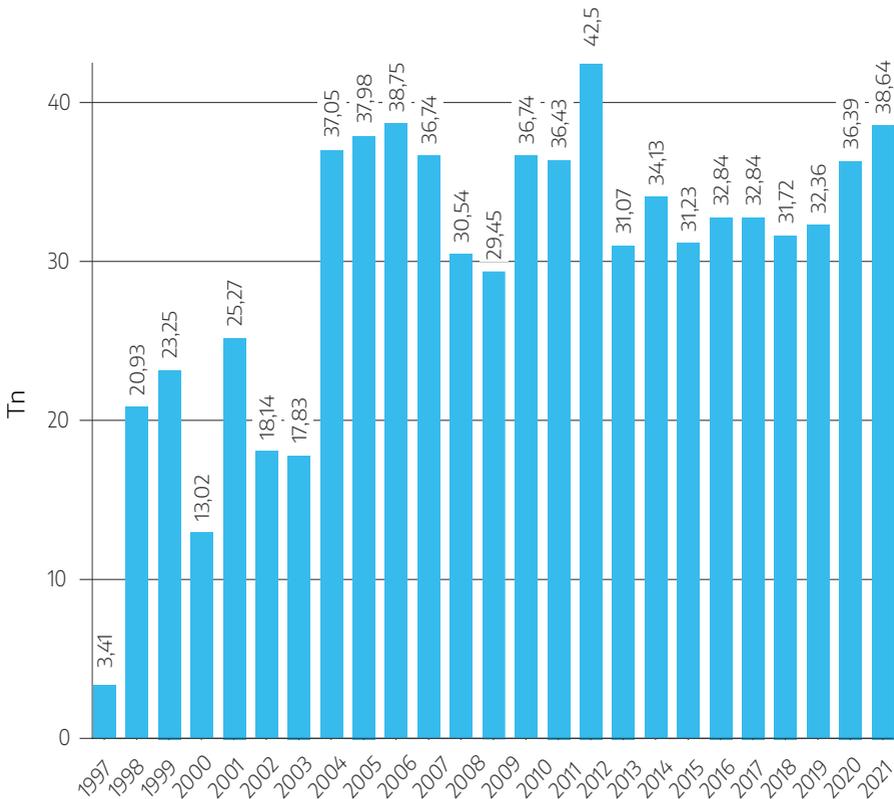
Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

**Gráfico 5. Cantidad de uranio natural para los EECC fabricados para la CNA I y II y la CNE (1982-2021) (en toneladas)**



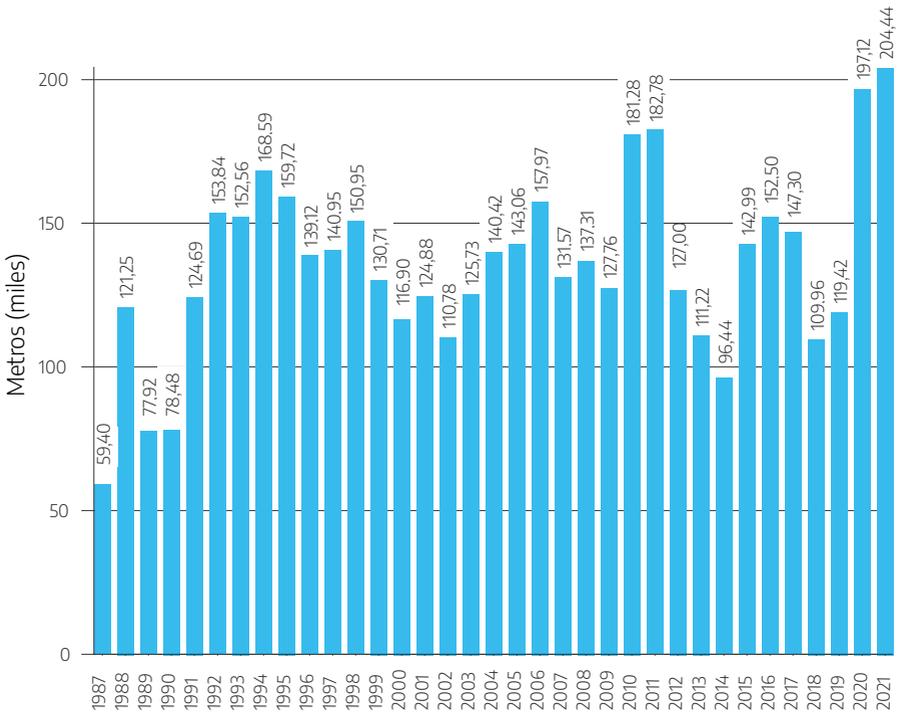
Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

**Gráfico 6. Cantidad de ULE para los EECC fabricados para la CNA I (1997-2021) (en toneladas)**



Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

**Gráfico 7. Cantidad de tubos de zircaloy para los EECC fabricados para las centrales CNA I, CNA II y CNE (1987-2021) (en miles de metros)**



Fuente: elaboración propia con base en información provista por CONUAR S.A.

## 2.3 Otras unidades de negocio de CONUAR S.A.

### 2.3.1 Fábrica de Aleaciones Especiales (FAE)

FAE (Fábrica de Aleaciones Especiales) fue creada el 30 de abril de 1986 mediante el Decreto 1088 del Poder Ejecutivo Nacional (PEN). El capital

empresario se constituyó con una participación del 68 % de la empresa CONUAR S.A. y del 32 % de la CNEA. Fue creada con el objetivo de 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 de la empresa se ubica dentro del CAE.

Sobre FAE, el Ing. Schroeder aclara:

En el año 1986 se crea FAE con el mismo modelo de CONUAR. Para esto la CNEA ya había desarrollado la tecnología para fabricar las vainas de zircaloy. Y de la misma manera, llamó a una licitación donde se presenta CONUAR. Y así nace FAE como una sociedad entre CONUAR y la CNEA, inicialmente para fabricar las vainas de zircaloy para los EECC. A lo largo de los años, FAE se fue especializando en otros productos, otras aleaciones de uso nuclear y para otras industrias como, por ejemplo, la industria aeronáutica. Hoy, desde FAE se exportan tubos especiales para usos nucleares a Brasil, India, Canadá, etc. Y también tubos de titanio para aplicaciones aeroespaciales a empresas como AIRBUS, con quien hemos calificado y tenemos un contrato para la provisión de los tubos de los sistemas hidráulicos de las aeronaves. Hoy FAE se encuentra fusionada con CONUAR, aunque siempre funcionaron en conjunto, CONUAR controlando a FAE hasta que se produjo la fusión por absorción (P. Schroeder, comunicación personal, 6 de mayo de 2022).

Durante 1982, la CNEA comenzó con la laminación de tubos de zircaloy y la preparación del herramental y del material para dar cumplimiento a la provisión de tubos de Zircaloy-4 tipo ANGRA-I producto de un contrato

entre CNEA y la empresa NUCLEBRAS<sup>47</sup> de Brasil. Además, se instalaron y pusieron en marcha los laboratorios de control y el espectrómetro de emisión atómica para el análisis de circonio. En la Figura 12 pueden verse los tubos de zircaloy.

### Figura 12. Tubos de zircaloy



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/conuar-ec-productos/>)

Recién en 1984, FAE se puso en marcha a escala industrial. En ese año se realizaron varias acciones para la calificación de FAE como proveedor a nivel nacional y una partida reducida de vainas tipo CANDU para obtener la calificación por un fabricante de elementos combustibles extranjeros. Cuatro años después finalizó la puesta en marcha de la línea de laminación y la transferencia de tecnología de la CNEA a FAE del proceso de fabricación de barras para discos de separadores a partir de esponja de circonio. Además, se completó la construcción de la planta de fundición para la producción nacional de los semiterminados TREX (tubos de pared gruesa) con tecnología aportada por la CNEA.

---

<sup>47</sup> Para más información sobre esta empresa, ingresar a <https://www.nuclep.gov.br/pt-br>

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.

Entre 2004 y 2005, CONUAR y FAE constituyeron una sociedad para facilitar las operaciones en Brasil. Además, obtuvo la certificación de su Sistema de Gestión de la Calidad bajo la norma EN-9100 para la fabricación de tubos de titanio sin costura para la industria aeroespacial (Figura 13).

### Figura 13. Tubos sin costura de titanio



Fuente: CONUAR S.A. (<http://www.conuar.com/productos-fae/>)

Respecto de los vínculos con dicha industria, en los años siguientes FAE profundizó los trabajos para la calificación ante la empresa AIRBUS<sup>48</sup> para la venta de tubos de titanio grado 9, calidad aeronáutica. Además, la empresa también iniciaría el proceso para la calificación de la Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER) para la provisión de tubos de características similares a los de AIRBUS. En ese sentido, la Direction des Construction Navales-Francia (DCNS), líder mundial francés en fabricación de naves para

---

48. Más información sobre este tema en <https://www.airbus.com/en>

la defensa, contrató a FAE como proveedora de tubos de titanio para los submarinos que fabrica la empresa francesa.

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, FAE comenzó con el desarrollo de procesos y ensayos de materiales de incoloy 800<sup>49</sup> 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, FAE da cumplimiento a la contratación realizada con la empresa Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A.I.C. (IMPISA)<sup>50</sup> para el suministro de tubos de incoloy 800. Estos tubos, considerados uno de los componentes

---

49 La aleación incoloy 800 es un material ampliamente utilizado para la construcción de equipos que precisan de resistencia a la corrosión, resistencia al calor, resistencia y estabilidad para funcionar hasta 816 °C. Ofrece resistencia general a la corrosión en numerosos medios acuosos y, gracias a su contenido en níquel, resiste el agrietamiento por corrosión bajo tensión. A temperaturas elevadas, ofrece resistencia a la oxidación, la carburación y la sulfuración, además de resistencia a la ruptura y a la fluencia (<https://www.haraldpihl.com/es/Productos/heat-resistant-alloys/incoloy-800-hht>).

50 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 IMPISA como única solución para asegurar el futuro de la empresa. En junio de 2021, IMPISA 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 %, respectivamente en la empresa.

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 dicho trabajo corresponde al Proyecto de Extensión de Vida de Embalse, fue la primera vez que se fabricaron ese tipo de tubos en el país.

En el mismo año, y en el ámbito internacional, FAE recibió la primera orden para proveer tubos de generador de vapor nuclear a la empresa austríaca Bilfinger Maschinenbau GMBH & CO<sup>51</sup>, destinados al generador de vapor del submarino brasileño de propulsión nuclear del proyecto LABGENE<sup>52</sup>. También, a fines de 2014, FAE obtuvo una orden de compra de la empresa ENSI S.E.<sup>53</sup> para fabricar tubos de acero inoxidable curvados.

Finalmente, el 11 de febrero de 2019, el Poder Ejecutivo Nacional (PEN) emitió el Decreto 121/19 en el cual se instruyó al Ministerio de Hacienda, a través de la Secretaria 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 S.A. El 18 de marzo de 2019 se suscribió el Compromiso Previo de Fusión. Como consecuencia de

---

51 Para más información sobre este tema consultar en <https://www.bilfinger.com>

52 Más información en <https://u-238.com.ar/brasil-comienza-a-desarrollar-el-reactor-del-submarino-nuclear>

53 La Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería Sociedad del Estado (ENSI S.E.) nace el 21 de diciembre de 1989 como convenio entre la CNEA y el Gobierno de la Provincia del Neuquén, con el objetivo de producir y comercializar agua pesada (D<sub>2</sub>O) virgen grado reactor. ENSI opera la Planta de Industrial de Agua Pesada (PIAP) donde se produce el D<sub>2</sub>O 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 creando 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>)

dicha fusión, se incorporaron y transfirieron a CONUAR todos los activos y pasivos, derechos y obligaciones, respecto de los cuales 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.

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

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

En 2007, y en el marco del relanzamiento del Plan Nuclear Argentino, CONUAR crea la división SM&S Fabricación con el objetivo de fabricar, por primera vez en el país, todos los componentes internos del reactor en el Proyecto de Extensión de Vida de la CNE.

En 2014, CONUAR sumó la división de SM&S Montajes y Servicios Especiales, con el objetivo de dar soporte integral a los diferentes proyectos en instalaciones y centrales nucleares.

SM&S Montajes presta servicios de fabricación empleando una amplia gama de aleaciones especiales, como aceros inoxidable, carbono, aleaciones de níquel, circonio, titanio, zircaloy y aluminio.

# 3

## Tecnología y desarrollo en CONUAR S.A.

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

La estrategia para el reequipamiento incluyó la utilización de parte de los dividendos generados por la empresa, sumados a diversos créditos internacionales que la empresa fue utilizando para ese fin. En este sentido, también es importante mencionar su participación en las convocatorias del área científica y tecnología pública a través de los programas FONTAR<sup>54</sup>,

---

54 Organismo dependiente de la Agencia de Promoción Científica Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

el cual permite el financiamiento de proyectos de investigación y desarrollo a través de exenciones impositivas. En este punto cabe aclarar que, como dice Quilici (2010), el decreto de creación de la empresa creaba un fondo sustentado en el 2 % de la facturación que debía ser utilizado para investigación y desarrollo, buena parte del cual iba a CNEA. Con el tiempo, CONUAR, a medida que maduró en el dominio de la tecnología, también comenzó a emplear este fondo para inversiones propias.

Quilici (2010) describe este procedimiento como un sistema donde los beneficios por innovación se distribuirían desde un 100 % para el primer Contrato de Compra solo para la CNEA hasta un 100 % para la empresa a partir del quinto contrato.

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.

El otro hito lo conformó el temprano desarrollo de los EECC de tipo CANDU para la CNE, a partir de la tecnología desarrollada por 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, como se detalló en capítulo 1, se creó el proyecto «Suministro Combustible

para Embalse» (SUCOEM), diseñado y estructurado para generar tecnología que posteriormente se pudiera transferir a la industria.

Una de las innovaciones más importantes del proyecto SUCOEM fue la construcción de la máquina necesaria para soldar los tapones a la vaina de las barras. El primer intento fue adquirir la máquina en los Estados Unidos, pero la empresa fabricante no pudo obtener el permiso del gobierno canadiense para su exportación. De esta manera, los tecnólogos de CNEA debieron realizar el diseño, la construcción y la puesta a punto de una máquina nacional<sup>55</sup>.

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 frenteado de vainas, el llenado de vainas con pastillas, 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.

---

55 Luego, ese trabajo dio origen a una patente nacional e internacional.

- La optimización del dispositivo de ensamble de barras combustibles y soldadura de grillas extremas<sup>56</sup>.

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.

Sobre las innovaciones llevadas a cabo por CONUAR, el Ing. Schroeder aclara:

Las tres centrales de potencia están abastecidas con EECC argentinos, con tecnología argentina. El diseño es de la CNEA y lo sigue siendo, mientras nosotros estamos a cargo de la fabricación industrial de ese diseño. Y en cuarenta años se han ido sucediendo muchos avances en este sentido. Los EECC argentinos se fabrican con tecnología argentina de clase mundial, comparable con la de los países más desarrollados, y asegurando un suministro

---

56 Más información en [www.argentina.gob.ar/CNEA/destacados/trabajos-de-cnea-para-la-central-nuclear-embalse/combustible-candu-argentina](http://www.argentina.gob.ar/CNEA/destacados/trabajos-de-cnea-para-la-central-nuclear-embalse/combustible-candu-argentina)

continuo de combustible a las centrales. Estos combustibles son un elemento crítico y muy difícil de reemplazar. No se pueden importar, ya que la CNA I y la CNA II son prototipos y no hay centrales de ese tipo en el mundo. En el caso de la CNE, cuando Argentina la compra, también adquiere los derechos para fabricar el combustible y para construir nuevas centrales CANDU si así lo decidiera. Pero, en el proceso de transferencia de la tecnología sucedió la detonación de la primera bomba atómica de la India, por lo cual la empresa canadiense discontinuó la transferencia de la tecnología de combustibles y todo ese desarrollo lo terminó haciendo CNEA. En este caso, el diseño y la tecnología son también nacionales. Es el mismo combustible que utilizan otras centrales CANDU en el mundo.

Otras innovaciones que se han ido produciendo en la empresa son la fabricación del combustible para el reactor CAREM, con uranio enriquecido. Y la futura cuarta central, de tecnología china HUALONG, que utilizará un combustible similar al del CAREM.

Todo ese desarrollo CONUAR lo está aplicando para el CAREM, al fabricar componentes especiales que se instalan en la obra y también en otros proyectos del sector, como la gestión de los combustibles gastados que hace NA-SA, de almacenamiento en seco, de transporte. Todo un proceso muy sofisticado en el que CONUAR también está trabajando. Actualmente, tratamos de utilizar estas capacidades también para proyectos del exterior (P. Schroeder, comunicación personal, 6 de mayo de 2022).

Por lo antedicho, la empresa CONUAR S.A. 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 medio ambiente y la comunidad la convierten

en un actor relevante no solo del desarrollo del sector, sino también, del país en general.

## A modo de conclusión: los vínculos de Dioxitek S.A. y CONUAR S.A. con el desarrollo tecnológico nacional

En este sentido, compartimos las conclusiones de Harriague, Quilici y Sbaffoni (2008), en su estudio sobre la autonomía del sector nuclear en un país periférico, como la Argentina, con el marco teórico brindado sobre los denominados estudios socio-técnicos. En efecto, basados en este paradigma, los autores analizan el sector nuclear argentino entre los años sesenta y ochenta dando cuenta de la relación entre tecnología y el medio social e histórico en el que se presenta. Considerando los trabajos de Thomas, Versino y Lalouf (2004), Leroi-Gourhan (1943), Lechtman (1977), Edens (1998) y Hughes (1983) concluyen que la historia del sector nuclear argentino es un claro ejemplo de la evolución de ese estilo socio-técnico a lo largo de más de medio siglo, en un contexto caracterizado por cambios radicales en lo político, como en lo económico y social. En el caso argentino, la generación nucleoelectrónica se transforma en uno de los componentes que permiten brindar sustentabilidad a la satisfacción de una demanda creciente, al no depender críticamente de una sola fuente y de sus fluctuaciones generalmente fuera del control nacional.

En este aspecto, es esencial la relación con lo escrito por Sábato (1973) acerca de las condiciones requeridas para sustentar un programa nuclear, a saber, la construcción de una capacidad autónoma en la toma de decisiones y el desarrollo de una infraestructura científica, tecnológica e industrial, que contribuyen a crear las condiciones de sustentabilidad necesaria. En resumen, Harriague, Quilici y Sbaffoni (2008) concluyen que esas condiciones permitieron dar continuidad al sector nuclear argentino durante más de 50 años, más allá de las crisis e inestabilidades, ya que, en este contexto, la CNEA desarrolló un estilo socio-técnico propio enraizado en

el contexto de ideas y objetivos prevalecientes en la época, tanto nacional como regional, cuyos principales valores fueron la autonomía tecnológica, la confianza en las capacidades locales y la valoración del conocimiento a la hora de la incorporación personal.

Ese «modo de hacer», según Harriague, Quilici y Sbaffoni (2008) tuvo como ejes la generación incremental de capacidades a través de la concreción de proyectos de complejidad creciente, la máxima participación de la industria local en los proyectos, un aprovechamiento inteligente de las posibilidades que brindaba el contexto internacional y la aplicación y utilización del poder promotor y regulador del Estado. El último punto es descriptivo de los nuevos paradigmas acerca de la importancia del papel estatal en el desarrollo de las naciones. En efecto, siguiendo a Mazzucato (2014), podemos decir que, al menos en el sector nuclear, el Estado argentino se convirtió en un elemento esencial para la dinamización y la innovación tecnológica. De esta manera, como plantea Mazzucato, el Estado, lejos de ser un lastre para la innovación, se convierte en su principal motor, asumiendo los riesgos en aquellos sectores donde el mercado no opera.

La creación de NA-SA, en 1994, hizo que se modificaran sustancialmente las relaciones entre la CNEA, CONUAR y Dioxitek. En efecto, una de las modificaciones más importantes se reflejó en los contratos. Hasta ese momento, toda la facturación de los insumos para las centrales nucleares se cargaba al presupuesto de la CNEA.

En el momento en que la Argentina toma la decisión de generar energía eléctrica a partir de la energía nuclear y, por lo tanto, surge la necesidad de la compra de la CNA I, el país ya contaba con una gran cantidad de tecnologías desarrolladas en la CNEA. Esta decisión materializaba uno de

los lados del «triángulo» planteado por Sábato, es decir, la relación entre los organismos científicos-tecnológicos y el Estado

En el mismo sentido, hay que recordar que la CNEA había creado el Departamento de Metalurgia y el SATI, ambos dirigidos por Sábato. De esta manera, se lograba la vinculación con el sector productivo y la transferencia al mismo de los conocimientos acumulados que permitirían mejorar la competitividad industrial. Es decir, la materialización de otro de los lados de ese «triángulo»: la vinculación entre los organismos de ciencia y técnica y el sector productivo.

Recorriendo ese mismo camino, se produce un hecho que marcaría una novedad frente a lo actuado por otros países que en ese momento adquirirían centrales nucleares. Estamos hablando de lo que se denominó la «apertura del paquete tecnológico», por el cual el diseñador de la CNA I, la empresa alemana Siemens, acepta la participación de la industria local como proveedora de partes importantes de la construcción. Esta decisión llevó a que se fabricaran en el país más del 40 % de los suministros. Ese apoyo del Estado a la obra cierra el «triángulo» con la materialización del tercero de sus lados: la relación entre el Estado y el sector productivo.

Finalmente, estas decisiones traerían como consecuencia la necesidad de la fabricación de los EECC para las centrales nucleoeléctricas. Y, si miramos la actuación de las empresas involucradas en esa producción, es correcto concluir que esas decisiones tomadas en su momento resultaron correctas y que la generación de investigación de base, desarrollos tecnológicos y transferencia a la industria queda plasmada en la creación de CONUAR y Dioxitek. Desde ese momento, a pesar de algunas dificultades puntuales, las centrales nucleares tuvieron disponible todo el combustible necesario para operar. Además, ambas empresas han colaborado en la provisión de

numerosos componentes especiales para las centrales que, de otra manera, tendrían que haberse importado. En este aspecto, no solo se ahorraron divisas, sino que el sector productivo nuclear exporta componentes nucleares y no nucleares de altísimo valor agregado aportando divisas al país.

En el caso de Dioxitek, la provisión continua del polvo de dióxido de uranio permitió contar con el insumo indispensable para la fabricación de las pastillas de uranio y su inclusión final en los EECC. Sin embargo, este no es el único aporte de la empresa al desarrollo nacional. En la primera parte del trabajo profundizamos en la fabricación de las fuentes de cobalto 60 industriales y medicinales, las cuales son un producto industrializado, con aporte tecnológico y de gran valor agregado, que genera ingreso de divisas al país, ya que se exporta principalmente a Europa y los Estados Unidos, casi el 95 % de la producción luego de abastecer totalmente la demanda local.

Ambas empresas proveen empleo de calidad en el sector de la metalurgia y la industria química y, de esta manera, se insertan en el tendido industrial del país. Se trata, entonces, de conocimiento y mano de obra argentina en un área de alta tecnología que no está desarrollada en todos los países del mundo.

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 en este caso, la herramienta de contar con empresas públicas, como 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 C.N. Atucha I. <https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/LibrosDigitales/Cronica-de-una-reparacion-im-posible-Libro.pdf>
- CNEA. (1981). Memoria y balance.
- CNEA. (1982). Memoria y balance.
- Edens, C. M. (1998). Technological style and chipped stone sickle blades and the Uruk expansion in southeastern Turkey. *ASOR-American School of Oriental Research Newsletter*, 48(4), Winter.
- Harriague, S., Quilici, D. y Sbaffoni, M. M. (23-26 de septiembre de 2008). Estilos socio-técnicos en el sector nuclear argentino. Crisis y sustentabilidad. XXI Jornadas de Historia Económica, UNTREF, Buenos Aires, Argentina.
- Hughes, T. P. (1983). *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. The John Hopkins University Press.
- Lechtman, H. (1977). Style in Technology: some early thoughts. En H. Lechtman y R. S. Merrill, *Material Culture: Styles, Organization and Dynamics of Technology*. American Ethnological Society.
- Leroi-Gourhan, A. (1943). *L'homme et la matière. Évolution et techniques*. Albin Michel.
- Mazzucato, M. (2014). *El Estado Emprendedor. Mitos del sector público frente al privado*, RBA.
- 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. <https://www.cnea.gov.ar/es/wp-content/uploads/files/combustibles.pdf>
- Quilici, D. y Spivak A. (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. (1973). Atomic Energy in Argentina: a case history. *World Devel*, 1(8), 23-28.
- Tanarro Sanz, A. y Tanarro Onrubia, A. (2008). diccionario-glosario inglés-español sobre tecnología nuclear (2da. Edición). Foro de la industria nuclear española. <https://www.foronuclear.org/recursos/publicaciones/diccionario-tecnologia-nuclear-ingles-espanol>
- Thomas, H., Versino, M. y Lalouf, A. (10-12 de marzo de 2004). La producción de artefactos y conocimientos tecnológicos en contextos periféricos: resignificación de tecnologías, estilos y trayectorias socio-técnicas. V Jornadas ESOCITE, Toluca, México.
- Zappino, J. (2022a). 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).
- Zappino, J. (2022b). 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).
- Zappino, J. (2022c). 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).

## CUINAP | Argentina, Cuadernos del INAP

Año 3 - N.º 94 - 2022

### Instituto Nacional de la Administración Pública

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

CP: C1035AAA - Tel.: 4343 9001 – Correo electrónico: [digecip@jefatura.gob.ar](mailto:digecip@jefatura.gob.ar)

ISSN 2683-9644

### Editor responsable

Mauro E. Solano

### Coordinación editorial

Pablo Nemiña

### Edición y corrección

Laura Scisciani

### Arte de tapa

Roxana Pierri

Federico Cannone

### Diseño y diagramación

Edwin Mac Donald

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

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

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



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

Esta publicación se encuentra disponible en forma libre y gratuita en: [publicaciones.inap.gob.ar](http://publicaciones.inap.gob.ar)

Julio 2022



Secretaría de  
Gestión y Empleo Público



Jefatura de  
Gabinete de Ministros  
Argentina