

# CUINAP | Argentina

Año 4 • **2023** | Cuadernos del INAP

## **Empresas públicas, tecnología y desarrollo V**

El ciclo del combustible nuclear argentino:  
la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP)

Jorge Salvador Zappino

**119**

Capacitar e investigar para fortalecer las capacidades estatales



# CUINAP | Argentina

## **Empresas públicas, tecnología y desarrollo V**

El ciclo del combustible nuclear argentino:  
la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP)

Jorge Salvador Zappino

# 119

## **Autoridades**

**Dr. Alberto Ángel Fernández**

Presidente de la Nación

**Ing. Agustín Oscar Rossi**

Jefe de Gabinete de Ministros

**Dra. Ana Gabriela Castellani**

Secretaria de Gestión y Empleo Público

**Mag. Leandro Bottinelli**

Director Institucional del INAP

# Índice

---

<b>Introducción</b>	<b>11</b>
<b>1 Desarrollo histórico</b>	<b>14</b>
<b>2 ¿Qué es y para qué sirve el agua pesada en el sector nuclear?</b>	<b>15</b>
<b>3 Antecedentes e historia de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP)</b>	<b>20</b>
<b>4 Situación de la PIAP a fines de 2022</b>	<b>40</b>
<b>A modo de conclusión</b>	<b>50</b>
<b>Glosario</b>	<b>52</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>55</b>

---

## **Empresas públicas, tecnología y desarrollo V**



**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

La tradición nuclear en la Argentina nace en 1950 con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), promovida por el entonces presidente Juan Domingo Perón. El objetivo de la institución era promover el estudio y el desarrollo de aquellos aspectos vinculados a la utilización pacífica de la energía nuclear. En ese contexto, entre las décadas de los cincuenta y los setenta, comenzaría a conformarse un complejo nuclear e industrial basado en instalaciones científicas y tecnológicas de la CNEA a lo largo y ancho del país.

En este camino, el organismo inició diversas acciones, entre ellas la extracción, purificación y conversión del uranio y la producción de radioisótopos para aplicaciones medicinales. Esta actividad llevó a la creación de empresas con alta tecnología para el desarrollo de procesos y la producción de bienes y servicios acordes a los planes nucleares.

En 1968 se iniciaron las obras de la primera central nuclear de potencia de la Argentina y de América Latina, Atucha I, cuyo objetivo era abastecer de energía eléctrica los polos productivos del Gran Buenos Aires y el Litoral. En 1973 comenzó la construcción de la Central Nuclear de Embalse, Córdoba, inaugurada en 1984, y en 1980 se inició la obra de Atucha II, la cual fue puesta en operación en 2014, luego de que la obra estuviera paralizada entre 1994 y 2006. Todas estas centrales empezarían a utilizar uranio natural producido en el país como combustible.

La Argentina es uno de los 12 países (además de los Estados Unidos, el Reino Unido, la Federación de Rusia, Francia, China, Alemania, Pakistán, Corea del Norte, Japón, India y Brasil) que lograron completar el proceso de enriquecimiento de uranio. Sin embargo, en los comienzos del Plan Nuclear Argentino, este proceso no estaba contemplado, ya que el país se había

decidido por la línea de reactores con uranio natural y agua pesada. Fue luego del endurecimiento del Tratado de No Proliferación —provocado por la explosión atómica en la India de 1974— y de la sanción de la Ley de No Proliferación Nuclear en los Estados Unidos de 1978 —que prohibía la provisión de uranio enriquecido a países no firmantes del tratado—, que el país decidió comenzar el desarrollo de la tecnología de enriquecimiento.

En los estudios de preinversión realizados para la construcción de cada central ya aparecía como meta crucial, aunque lejana, la necesidad de completar el ciclo del combustible, esto es, disponer de todas las tecnologías para la producción industrial de los insumos necesarios (como el agua pesada y los elementos combustibles) para el funcionamiento de una central de potencia. El agua pesada que requerían estos reactores, si bien significaba también cierto grado de dependencia de fuentes extranjeras, podía obtenerse de más de un proveedor y se trataba de un compromiso a corto plazo, dado que la producción de agua pesada pasaría a ser una de las prioridades de la CNEA (Hurtado, 2014).

Para dar cumplimiento a esa prioridad, la CNEA se abocó a la construcción de una planta para la producción de agua pesada en Arroyito, Neuquén: la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP). Fue finalizada en 1991, al mismo tiempo que la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. (ENSI S.E.) se hizo cargo de su operación. La primera producción fue obtenida en 1994.

## **Palabras clave**

Agua pesada, combustible nuclear, energía nuclear, PIAP, ENSI.



## **Abstract**

The nuclear tradition in Argentina began in 1950 due to the creation of the National Atomic Energy Commission (CNEA), promoted by President Juan Domingo Perón. Its main aim was to promote the study and development of those aspects related to the peaceful use of nuclear energy. In this context, between the 1950's and the 1970's, a nuclear and industrial complex began to take shape in Argentina based on scientific and technological facilities of the CNEA throughout the country.

Along that path, the CNEA initiated several actions, including the extraction, purification and conversion of uranium and the production of radioisotopes for medicinal applications. This activity led to the creation of companies with high technology for the development of processes and the production of goods and services in accordance with the nuclear plans.

In 1968, the first nuclear power plant in Argentina and Latin America, Atucha I whose objective was to supply electrical energy to the productive poles of greater Buenos Aires and the Litoral, started to work. Construction of the Embalse Nuclear Power Plant, inaugurated in 1984, started to work in 1973, and construction of Atucha II in 1980, which was put into operation in 2014 after it was stopped between 1994 and 2006. All these plants used natural uranium produced in Argentina as fuel.

Argentina is one of the 12 countries (United States, United Kingdom, Russian Federation, France, China, Germany, Pakistan, North Korea, Japan, India and Brazil) that managed to complete the uranium enrichment process. However, at the beginning of the Argentine nuclear plan this process was not contemplated since the country had decided on the line of reactors with natural uranium and heavy water. It was after the tightening of the Non-Proliferation Treaty caused by the atomic explosion in India in 1974

and the enactment of the Nuclear Non-Proliferation Act in the United States in 1978, which prohibited the supply of enriched uranium to countries that were not signatories to the Treaty, that Argentina decided to start the development of enrichment technology.

In the pre-investment studies carried out for the construction of each plant, the needed to complete the fuel cycle, that is, to have all the technologies for the industrial production of the necessary inputs such as water, already appeared as a crucial goal, although distant. The heavy water required by these reactors, while also implying some degree of reliance on foreign sources, could be obtained from more than one supplier and was a short-term commitment, as heavy water production would become one of the priorities of the CNEA (Hurtado, 2014).

To comply with this priority, CNEA undertook the construction of a plant for the production of heavy water in Arroyito, Neuquén, called the Heavy Water Industrial Plant (PIAP). This plant was completed in 1991, at the same time that the Empresa Neuquén de Servicios de Ingeniería S.E. (ENSI S.E.) took over its operation. The first production was obtained in 1994.

### **Key words**

Heavy water, nuclear fuel, nuclear energy, PIAP, ENSI.

## Introducción

La tradición nuclear en la Argentina nace en 1950 con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), promovida por el entonces presidente Juan Domingo Perón. El objetivo de la institución era promover el estudio y el desarrollo de aquellos aspectos vinculados a la utilización pacífica de la energía nuclear. En ese contexto, entre las décadas de los cincuenta y los setenta, comenzó a conformarse un complejo nuclear e industrial basado en instalaciones científicas y tecnológicas de la CNEA a lo largo y ancho del país.

En este camino, el organismo inició diversas acciones, entre ellas la extracción, purificación y conversión del uranio y la producción de radioisótopos para aplicaciones medicinales. Esta actividad llevó a la creación de empresas con alta tecnología para el desarrollo de procesos y la producción de bienes y servicios acordes a los planes nucleares.

En 1968 se iniciaron las obras de la primera central nuclear de potencia de la Argentina y de América Latina, Atucha I (CNA I), cuyo objetivo era abastecer de energía eléctrica los polos productivos del Gran Buenos Aires y el Litoral. En 1973 comenzó la construcción de la Central Nuclear de Embalse (CNE), Córdoba, inaugurada en 1984, y en 1980 se inició la obra de Atucha II (CNA II), la cual fue puesta en operación en 2014 luego de que la obra estuviera paralizada entre 1994 y 2006. Todas estas centrales empezarían a utilizar uranio natural producido en el país como combustible<sup>1</sup>.

La Argentina es uno de los 12 países (además de los Estados Unidos, el Reino Unido, la Federación de Rusia, Francia, China, Alemania, Pakistán,

---

<sup>1</sup> Para más información sobre el desarrollo nuclear argentino, véase Hurtado (2014), De Dicco (2015), Zappino (2022a), (2022b), (2022c) y (2022d).

Corea del Norte, Japón, India y Brasil) que lograron completar el proceso de enriquecimiento de uranio. Sin embargo, en los comienzos del Plan Nuclear Argentino, este proceso no estaba contemplado, ya que el país se había decidido por la línea de reactores con uranio natural y agua pesada. Fue luego del endurecimiento del Tratado de No Proliferación —provocado por la explosión atómica en la India de 1974— y de la sanción de la Ley de No Proliferación Nuclear en Estados Unidos en 1978 —que prohibía la provisión de uranio enriquecido a países no firmantes del tratado— que el país decidió comenzar el desarrollo de la tecnología de enriquecimiento.

En los estudios de preinversión realizados para la construcción de cada central ya aparecía como meta crucial, aunque lejana, la necesidad de completar el ciclo del combustible, esto es, disponer de todas las tecnologías para la producción industrial de los insumos necesarios (como el agua pesada y los elementos combustibles) para el funcionamiento de una central de potencia. El agua pesada que requerían estos reactores, si bien significaba también cierto grado de dependencia de fuentes extranjeras, podía obtenerse de más de un proveedor y se trataba de un compromiso a corto plazo, dado que la producción de agua pesada pasaría a ser una de las prioridades de la CNEA (Hurtado, 2014).

Para dar cumplimiento a esa prioridad, CNEA se abocó a la construcción de una planta para la producción de agua pesada en Arroyito, Neuquén: la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP). Fue finalizada en 1991, al mismo tiempo que la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. (ENSI S.E.) se hizo cargo de su operación. La primera producción fue obtenida en 1994.

El trabajo se estructura en cuatro secciones, además de esta introducción, las conclusiones y un glosario. En la primera sección se describen el desarrollo histórico, el concepto de agua pesada, los métodos de producción, sus

diversas aplicaciones y las plantas existentes en el mundo. En la segunda sección se describen los antecedentes y la historia de la PIAP. En la tercera sección se analiza la creación de ENSI S.E. y la operación de la PIAP. Se describen, además, las características de la planta, la producción de la misma a lo largo de su historia y el proyecto de anexar una planta de fertilizantes, dada su complementariedad productiva. En la última parte de la tercera sección se detallan otras actividades de la empresa neuquina. Por último, se analiza la situación actual de la PIAP y las alternativas a futuro.

# 1

## Desarrollo histórico

El agua pesada se sintetizó por primera vez en 1932, pocos meses después del descubrimiento del deuterio. Con el descubrimiento de la fisión nuclear a finales de 1938, y la necesidad de un moderador que capturara pocos neutrones, el agua pesada se convirtió en un componente de investigación de la primera energía nuclear. Desde entonces, el agua pesada ha sido un componente esencial en algunos tipos de reactores, tanto de los que generan energía como de los diseñados para producir radioisótopos. Estos reactores de agua pesada tienen la ventaja de poder emplear uranio natural sin el uso de los moderadores de grafito. Los reactores más modernos utilizan uranio enriquecido con agua liviana o normal ( $H_2O$ ) como moderador.

Harold Urey descubrió el isótopo deuterio en 1931 y más tarde fue capaz de concentrarlo en agua. El mentor de Urey, Gilbert Newton Lewis, aisló la primera muestra de agua pesada pura por electrólisis en 1933. George de Hevesy y Abram Hoffer utilizaron agua pesada en 1934, en uno de los primeros experimentos de trazadores biológicos, para estimar la tasa de renovación del agua en el cuerpo humano. Ese mismo año, Emilian Bratu y Otto Redlich estudiaron la autodisociación de agua pesada. Desde finales de los años treinta y durante la Segunda Guerra Mundial, se realizaron grandes avances en la producción y uso de agua pesada en gran cantidad en los primeros experimentos nucleares. Muchos de estos experimentos se mantuvieron en secreto debido a su importancia militar.

## ¿Qué es y para qué sirve el agua pesada en el sector nuclear?

Siguiendo a Aprea (2003), el agua pesada ( $D_2O$ ) es un líquido transparente de apariencia idéntica al agua común ( $H_2O$ ), aunque tiene una densidad 10 % mayor. Es incolora, inodora e insípida. No es tóxica ni radiactiva. A diferencia del agua común, el agua pesada incluye en su fórmula dos átomos de deuterio y uno de oxígeno. Algunos o la mayoría de los átomos de hidrógeno del agua pesada contienen un neutrón, lo que provoca que cada uno de ellos sea aproximadamente dos veces más pesado que un átomo de hidrógeno normal (aunque el peso de las moléculas de agua solo se ve moderadamente afectado, ya que aproximadamente el 89 % del peso molecular reside en el átomo de oxígeno). Así, el aumento de peso del hidrógeno en el agua hace que sea un poco más densa.

La fisión nuclear es la ruptura del núcleo atómico por el impacto de neutrones. Para que una reacción en cadena sea autosostenida en el tiempo es necesario que los neutrones liberados en cada colisión «sobrevivan» para producir nuevos choques y así dar lugar a sucesivas fisiones. Eso se logra en un reactor mediante un elemento moderador, el agua pesada, que absorbe 70 veces menos neutrones que el agua común y esta propiedad la hace ideal como agente moderador en ciertos reactores nucleares. En los reactores nucleares alimentados con uranio natural debe usarse agua

pesada como moderador. El más popular de los reactores de este tipo es el Canadian Deuterium Uranium (CANDU). Solo en el caso de reactores que empleen uranio enriquecido puede usarse agua común en su interior.

En síntesis, el agua pesada en un reactor nuclear cumple dos funciones: a) refrigeración, al transportar fuera del reactor el calor generado en el proceso de fisión y b) moderación, al desacelerar los neutrones hasta la velocidad y energía más adecuadas para lograr colisiones efectivas.

## 2.1 Plantas productoras en el mundo

La ex-URSS inició la producción de agua pesada en 1934 en Dnepropetrovsk, pero fue interrumpida debido a la Segunda Guerra Mundial. Una vez finalizada, se construyeron cinco plantas con una producción anual total de 20 tn.

En los Estados Unidos, hubo producción de agua pesada hasta los años ochenta. Los comienzos fueron en 1953, cuando los reactores de plutonio de Savannah River Site (SRS) comenzaron a utilizar este elemento mediante el método de intercambio químico.

Por su parte, e históricamente, Canadá fue el principal productor de agua pesada hasta fines de la década de los noventa. Los inicios fueron simultáneos al Proyecto Manhattan, para el cual, en 1943, se construyó una planta que producía 6 tn al año. El reactor CANDU de Atomic Energy of Canada Limited (AECL) requiere para su funcionamiento grandes cantidades de agua pesada, la cual actúa como moderador de neutrones y refrigerante. Para este abastecimiento, AECL construyó las plantas de Glace Bay y la de Port Hawkesbury, Nueva Escocia. Al verificarse diversos



problemas en ambas plantas, se construyó la Planta de Bruce. Las dos plantas fueron cerradas en 1985, por lo que solo quedó operativa la de Bruce, con una capacidad de producción de 700 tn al año.

Por otro lado, en Noruega, la producción de agua pesada data de 1934, cuando se construyó una planta en Vemork Tinn, la cual tenía una capacidad de producción de 12 tn al año. Esta fue destruida por los Aliados durante la Segunda Guerra Mundial, para evitar el abastecimiento de Alemania.

Asimismo, cabe mencionar que, en 2006, Irán inauguró una ampliación de una planta ya existente; que Rumania también produce agua pesada y exporta parte de su producción; y que la India es uno de los actuales mayores productores, ya que exporta parte de ese producto a Corea y los Estados Unidos.

Actualmente, el agua pesada comercial es conocida como óxido de deuterio y se produce en varios grados de enriquecimiento de deuterio (grado de reactor nuclear).

## **2.2 Métodos de producción de agua pesada**

En el planeta Tierra se puede encontrar agua deuterada (HDO) en forma natural en el agua normal con una proporción de 1 molécula en 3200. Para separarla, se utiliza el método de destilación o el método de electrólisis. Además, existen procesos de intercambio químico que aprovechan el efecto isotópico cinético, es decir, la diferencia de masa que existe entre los dos isótopos del hidrógeno se trata como una diferencia en la energía y en la velocidad de la reacción. Cuando el HDO se convierte en una fracción del agua, el agua pesada se hace más prevalente debido a que las moléculas

de agua intercambian átomos de hidrógeno rápidamente. La producción por destilación o electrólisis requiere una gran cascada de cámaras de electrólisis y consume grandes cantidades de energía, motivo por el cual es más económica la producción a través de métodos químicos.

Como materia prima para la producción de agua pesada se emplea el deuterio que se halla naturalmente en cualquier compuesto del hidrógeno. El agua común, por su bajo costo y abundancia, es la más adecuada fuente de deuterio. Para la producción, se han propuesto y ensayado numerosos métodos, y los procesos de «intercambio isotópico» son los más aceptados y probados para la producción a gran escala. Dentro de estos métodos, el «intercambio isotópico entre hidrógeno y amoníaco» representa la más moderna tecnología disponible al día de hoy. Se trata de una industria química convencional, de muy alta tecnología, que requiere mucha energía y es mucho más limpia que cualquier planta petroquímica.

El agua pesada utilizada en los reactores CANDU es de un enriquecimiento del 99,75 % por cada átomo de hidrógeno, lo que significa que el 99,75 % de los átomos de hidrógeno son del tipo pesado (deuterio). En comparación, en el agua ordinaria solo hay alrededor de 156 átomos de deuterio por cada millón de átomos de hidrógeno. La diferencia en los elementos del núcleo del átomo de agua pesada modifica algunas de sus propiedades físicas, como la densidad o el punto de ebullición.

El proceso más rentable para producir agua pesada es el proceso de sulfuros de intercambio de doble temperatura (conocido como el «proceso de sulfuros Girdler») desarrollado en paralelo por Karl-Hermann Geib y Jerome S. Spevack en 1943.

## 2.3 Usos y aplicaciones del agua pesada

Además de ser usado como agente moderador y refrigerante de los reactores nucleares de uranio natural, en los últimos años, el deuterio contenido en el agua pesada comenzó a utilizarse en el campo de la investigación y de la medicina, por ejemplo, para producir compuestos deuterados que sirven como solvente en espectroscopia de resonancia magnética nuclear. Se trata de una técnica analítica rica en información y no destructiva, que sirve para evaluar las estructuras de numerosas moléculas químicas. Los disolventes empleados en este estudio son líquidos orgánicos de baja viscosidad con buenas propiedades de solubilidad y contribuyen al apantallamiento, ya que facilitan la continuidad de la reacción eléctrica de polarización producida por las moléculas del soluto.

Asimismo, el agua pesada es solicitada por empresas y laboratorios de distintos países para la fabricación de solventes deuterados. Paralelamente, numerosos centros de investigación de la Argentina—incluido el Instituto Antártico Argentino— también son provistos con agua pesada para llevar a cabo sus tareas. A la vez, se la ha requerido para la fabricación de elementos ópticos de alta calidad, por ejemplo, en la empresa Balboa Scientific de los Estados Unidos. También se la emplea para el tratamiento de afecciones de la vista, como en el caso de Alkeus Pharmaceuticals, una compañía de biotecnología del mismo país, cuyo objetivo es descubrir y desarrollar tratamientos para enfermedades oculares severas que conducen, finalmente, a la ceguera.

Finalmente, cabe destacar que el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) sostiene el trabajo de investigadoras/es que utilizan el agua pesada para realizar evaluaciones y seguimientos de la desnutrición infantil (Echeverría, 2014).

# 3

## Antecedentes e historia de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP)

El primer antecedente de producción de agua pesada en la Argentina data de la década de los cincuenta cuando, Juan Mac Millan y sus colaboradores diseñaron una columna de destilación para obtenerla, trabajo que fue continuado por los doctores Enrique Silberman y Walter Barán y no concluido por falta de recursos (CNEA, 1984). A fines de esa década Silberman y Carlos Carjuzaa, valiéndose de pequeñas columnas de vidrio, estudiaron los problemas de la difusión térmica aplicada a la separación isotópica (Asociación de Profesionales de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la actividad Nuclear [APCNEAN], 2011).

En 1963, Silberman y Cretella realizaron un estudio de una planta para producir 20 tn al año. En ese trabajo, enumeraron los antecedentes de la producción de agua pesada en el mundo y los distintos métodos utilizados en el proceso, además de los estudios de factibilidad económica para la construcción de plantas.

El trabajo concluye con la elección del método más económico para obtener agua pesada que es el de intercambio isotópico  $\text{SH}_2/\text{H}_2\text{O}$  desarrollado con éxito en los Estados Unidos. Además, se plantea que debe tenerse en cuenta el costo de producción ligado al costo de inversión y al consumo de energía, y la posibilidad de organizar la producción en gran escala.

En este sentido, resulta necesario tener en cuenta otros factores que dependen, en parte, de la ubicación, como el costo de la energía y de la mano de obra, el interés pagado, la duración de la planta, los gastos de mantenimiento, entre otros.

Sobre el informe de Silberman y Cretella, los ingenieros Fernando Lisse y Mauricio Bisauta, presidente y director ejecutivo de ENSI respectivamente, amplían:

El informe contextualiza muy bien el tema del Plan Nuclear Argentino 1950-1963. Hoy tenemos una discusión en el sector, que si Hualong sí, que CANDU no, etc. Y, para mí, es una discusión superficial. El plan nuclear ordena todo el ciclo del combustible. Antes de definir qué tecnología usar en una cuarta central nuclear, hay que definir el plan. Lo mismo que la PIAP. Hay que definir primero el plan nuclear y en función de ese plan definir si se arranca o no la planta, cuántas tn producir, si las tenés que producir en 5 años, en 10 años, etc. Porque históricamente fue así. Y la discusión no es una central más. La PIAP fue diseñada para abastecer 6 centrales nucleares (F. Lisse, comunicación personal, 26 de octubre de 2022).

Si bien ENSI se creó en 1994, el agua pesada del primer núcleo de la CNE fue alquilada a Canadá. Y la primera producción de ENSI fue para reemplazar el agua pesada de la CNE. Eso fue un contrato con Nucleoeléctrica Argentina S.A. y una financiación del Banco de la Nación Argentina. El D<sub>2</sub>O no tiene las características de consumible como el UO<sub>2</sub> o los EECC, por lo tanto, si se mira la producción de agua pesada, se ve un diente de sierra, no se ve continuidad en la producción. Esto es claramente una desventaja para la PIAP, que claramente está atada al desarrollo de un plan nuclear (M. Bisauta, comunicación personal, 26 de octubre de 2022).

El trabajo estudia localizaciones posibles como Campo Durán, en Salta, Plaza Huincul en Neuquén, Comodoro Rivadavia y Tierra del Fuego, en lo referente al acceso a energía de bajo costo. Respecto del agua, Comodoro Rivadavia y Tierra del Fuego cumplían ampliamente esos requisitos. A su vez, la radicación de industrias en Comodoro Rivadavia y en Plaza Huincul favorecía la contratación de mano de obra especializada. Para el tema del transporte, Tierra del Fuego quedaba descartada por su falta de puerto para operar con grandes bultos. En este aspecto, Comodoro Rivadavia ofrecía mejores posibilidades (Silberman y Cretella, 1963).

Hacia 1970 se reactivó la iniciativa y el ingeniero Núñez comenzó la búsqueda de antecedentes sobre producción industrial de agua pesada, con la colaboración del Dr. Barán a partir de 1972. Según fueron desarrollándose las ideas en el nivel directivo de la CNEA, se solicitó a Núñez y Cretella una actualización de costos de inversión y operación de una planta para 400 tn/año. Concluyeron que resultaba conveniente un trabajo sistemático, porque la producción local de agua pesada constituiría un pilar de cualquier plan futuro. Propusieron entonces la creación de un grupo de trabajo permanente, el cual se constituyó en 1973 bajo la responsabilidad del Dr. Gerardo Videla (APCNEAN, 2011).

Años más tarde, se realizó un estudio de condiciones para la contratación de la obra de una planta industrial de agua pesada que tuviera una capacidad de producción de aproximadamente 15 tn anuales. Un lustro después, se encargaron los estudios de factibilidad que analizaron los aspectos de ubicación geográfica de la planta. En este punto, durante 1977 se planteó la construcción de dos plantas: una experimental, a localizarse en el predio de Atucha, y diseñada para producir 3 tn anuales; y una planta industrial con capacidad para producir 250 tn anuales, ubicada en Arroyito, Neuquén. Un año después, ya estaba concluida la ingeniería básica de

la planta experimental en Atucha mientras continuaban los estudios de factibilidad en Arroyito.

En 1973 se había tomado la decisión de continuar con la línea de reactores de uranio natural y agua pesada, cuya primera concreción fue la CNA I en 1974. Ese mismo año, India probó su primera bomba atómica, hecho que provocó severas restricciones a la transferencia de tecnología nuclear desde los países más avanzados y condicionó las compras de agua pesada. Como consecuencia, la producción local de agua pesada apareció como imprescindible para la construcción de nuevas centrales nucleares.

En 1979 la CNEA fue autorizada a concretar la instalación de la PIAP en Arroyito y se efectuó el llamado a licitación. Durante julio y agosto se evaluaron las ofertas y, mediante el Decreto 2411/1979 del Poder Ejecutivo Nacional (PEN), se autorizó a la CNEA a aceptar la oferta de la empresa Sulzer Brothers Ltd. (de capitales suizos) con una participación de la industria nacional del orden del 30 % en el desarrollo del proyecto (De Dicco *et al.*, 2015).

En 1980 ya se tenía un 12 % de avance en las obras de la planta de Arroyito y se esperaba su finalización para 1984. La planta quedaría en condiciones de producir las más de 600 tn de agua pesada que se usarían en la CNA II, la cual tenía prevista su puesta en marcha en 1987. En el mismo momento, continuaba la construcción de la planta experimental en Atucha, que debía terminarse el mismo año que la CNA II. Esta planta permitiría que la Argentina estuviera en condiciones de construir módulos industriales con capacidad de 80 tn anuales.

El 10 de diciembre de 1983 asumió el gobierno Raúl Alfonsín. En lo económico, los temas más acuciantes eran la inflación, la deuda externa

y un fuerte déficit fiscal, todo agravado por las fuertes subas en las tasas de interés internacionales y la ausencia de crédito. Al principio de su gobierno, pese a los problemas económicos y en el marco de un programa heterodoxo, Alfonsín se puso como objetivo continuar con las obras de infraestructura eléctrica que estaban en ejecución, entre ellas las futuras centrales nucleares. Sin embargo, a partir de 1985, luego del fracaso del programa heterodoxo, se implementó un plan de estabilización que, entre otras medidas, tenía por objetivo el achicamiento de los gastos de inversión del sector público para reducir el déficit fiscal (Azpiazu y Schorr, 2010, p. 83).

Estas medidas impactaron fuertemente en el presupuesto de la CNEA y en el sector nuclear en general, ya que el proyecto de la CNA II se encontraba paralizado por la insuficiencia de fondos. En realidad, todo el sector nuclear quedó en medio de un debate entre quienes preferían que las inversiones se realizaran en la generación térmica convencional y quienes pretendían continuar con el proceso de diversificación de la matriz mediante el aumento del porcentaje generado por la energía nuclear. Sin embargo, según Lugones (2018), la CNEA indicaba que, tras evaluar el funcionamiento de la CNA I y de la CNE, la demanda futura del sector energético y la escasez de otras fuentes de energía no debía dejarse de contemplar la nucleoelectricidad como alternativa en los planes del sector eléctrico.

En 1988 finalizaron las obras de la planta piloto de Atucha. Sin embargo, la de Arroyito tenía un 93 % de avance debido a los continuos retrasos provocados por la falta de presupuesto. En este contexto, en 1990 la CNEA tomó el control de la construcción como consecuencia de la rescisión del contrato acordada con la empresa constructora.



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

Para Hurtado (2014), el cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos en 1983 en materia de no proliferación nuclear y los temores acerca del interés del Gobierno militar por desarrollar armas atómicas determinó, en primer lugar, que en 1988 se descontinuara el programa de enriquecimiento de uranio y, en segundo lugar, la anulación del contrato obtenido por INVAP para construir un reactor de investigación en Irán. La permanente inestabilidad económica y los sucesivos planes de ajuste de la década del ochenta y principios de los noventa fueron condicionando crecientemente la capacidad de financiamiento de la CNEA. De esta forma, se produjeron atrasos en la programación de los diferentes proyectos en marcha, pese a lo cual se pudo culminar la obra de la planta industrial de agua pesada, ya que se creó la empresa ENSI en convenio con el Estado de la provincia de Neuquén para la operación. Sin embargo, en 1994, los problemas de financiamiento derivaron en la suspensión de la construcción de la CNA II.

Finalmente, la PIAP fue terminada en 1992, año en el cual se hizo cargo de la operación ENSI S.E. La construcción demandó una inversión total del orden de los USD 1000 millones.

### **3.1 La creación de ENSI y la operación de la PIAP**

Para darle continuidad el proyecto, el 21 de diciembre de 1989, la CNEA y la provincia del Neuquén crearon la empresa ENSI mediante la Ley provincial 1987, con el objetivo de finalizar la construcción de la planta y poder producir y comercializar agua pesada virgen grado reactor, insumo utilizado como moderador y refrigerante en los reactores nucleares que emplean uranio natural como combustible.

El 19 de noviembre de 1992, la CNEA firmó con ENSI dos contratos, un «Contrato para la terminación de construcción de la Planta Industrial de Agua Pesada» y otro «Contrato para la puesta en marcha y operación de la Planta Industrial de Agua Pesada». A partir de esta fecha, comenzó a contratarse personal para conformar la estructura organizativa de la empresa, entre quienes se encuentra la mayor parte del personal de CNEA que venía trabajando en el proyecto hasta entonces. Durante la aplicación de estos contratos, antes de cumplirse dos años desde su firma, ENSI logró concluir las obras de la PIAP, ponerla en marcha y producir agua pesada con la calidad de diseño especificada el 9 de septiembre de 1994. Desde esa fecha en adelante, se han producido más de 1350 tn de este elemento nuclear con una capacidad de producción anual de 200 tn de agua pesada grado reactor (99,89 % de pureza), con la que se puede abastecer a las tres centrales nucleares argentinas. Pero, además de abastecer al mercado local, ENSI produjo para devolver a Canadá el agua pesada alquilada para la CNE y la carga inicial de la CNA II. También

ganó protagonismo en el mercado internacional al exportar a Corea del Sur, Estados Unidos, Australia, Suiza, Francia, Alemania y Noruega. Cabe destacar que, en la actualidad, la Argentina es el único país en el mundo en posición de liderar el suministro mundial de este estratégico insumo.

En 1995, a poco tiempo de comenzar su operación, la empresa diversificó su actividad y creó una unidad de negocios denominada Obras y Servicios, orientada a prestar servicios de ingeniería al sector industrial de nuestro país, especialmente a la industria petroquímica, petrolera y gasífera.

Luego de la situación de estancamiento en la que se mantuvo el sector nuclear entre la segunda mitad de los años ochenta y la década de los noventa, en 2006 el entonces presidente, Néstor Kirchner, impulsó nuevamente el desarrollo nuclear argentino. En efecto, el nuevo plan, instrumentado mediante la Ley 26.566, buscaba reactivar el desarrollo de la energía nuclear. Sus principales objetivos eran finalizar la CNA II, iniciada en 1980 y paralizada desde 1994; construir una cuarta central nuclear; extender la vida útil de la CNA I y de la CNE; construir un prototipo de reactor CAREM (planta nuclear de baja potencia de cuarta generación); poner en marcha la planta de producción de agua pesada de Arroyito; y reanudar el proyecto de enriquecimiento de uranio.

La finalización de la construcción de la CNA II llevó nuevamente a la puesta en marcha de la PIAP en 2006, luego de haber estado paralizada durante 7 años operando con bajos recursos y mucho esfuerzo por parte del personal. Esas tareas permitieron recuperar con rapidez sus niveles de producción. Para su reactivación, se realizaron mejoras en el circuito de agua de enfriamiento de la planta, se reemplazaron intercambiadores de calor y se reentubaron equipos.

En 2012 la PIAP realizó la entrega del agua pesada requerida para la carga inicial de la CNA II. Al poco tiempo, además, entregó las 650 tn previstas. Además, la planta produjo agua pesada para encarar el Proyecto de Extensión de Vida de la CNE (PEV) y exportar este insumo a Canadá y Corea del Sur. También abasteció a reactores de investigación de otros países.

## 3.2 Características de la planta

El proceso para la obtención del agua pesada aplicado por la PIAP se basa en el método denominado «intercambio isotópico monotérmico entre amoníaco-hidrógeno ( $H_2/NH_3$ )». Como materia prima, se emplea el agua natural con una concentración normal de 145 ppm (partes por millón) de deuterio. Inicialmente, el agua de alimentación es captada desde el lago de Arroyito —formado por el río Limay 350 km aguas abajo de Bariloche—, se bombean 300 m<sup>3</sup>/h de agua a la planta, donde es filtrada y desmineralizada antes de extraerle el deuterio, y enviada por la estación de bombeo a la unidad de tratamiento de agua. Cabe aclarar que las aguas de este río presentan una concentración de átomos de deuterio de 145 ppm. En esta unidad, el agua es filtrada y desmineralizada, para luego extraerse el deuterio a través de la captura por moléculas de vapor de amoníaco y, mediante un proceso de intercambio isotópico, se produce el enriquecimiento en deuterio para derivar en la producción de agua pesada a través de un proceso de oxidación.

En este proceso, siguiendo a Aprea (2013), se pueden distinguir tres etapas:

- **EXTRACCIÓN ISOTÓPICA:** mediante temperaturas y presiones moderadas, las moléculas de vapor de amoníaco capturan el deuterio del agua para luego condensar el amoníaco.

- **ENRIQUECIMIENTO:** el amoníaco en estado líquido entra a las torres de enriquecimiento donde intercambia, en presencia de un catalizador de potasio, átomos de deuterio con una corriente ascendente de gas que es producida en hornos por descomposición catalítica del amoníaco. A este último proceso se lo denomina *cracking*. Como resultado del intercambio de isótopos, el amoníaco se enriquece en deuterio y el gas de síntesis que asciende se va empobreciendo. Luego, este gas alimenta un reactor de síntesis para reconstruir las moléculas de amoníaco y enviarlas nuevamente hacia la etapa de extracción. El enriquecimiento se efectúa en tres pasos sucesivos. Finalmente, de la tercera torre de enriquecimiento se deriva una pequeña corriente de gas rica en deuterio hacia la última etapa.
- **OXIDACIÓN CATALÍTICA:** el deuterio contenido en el gas es oxidado con aire seco en presencia de un catalizador para generar óxido de deuterio, es decir, agua pesada. Por último, el producto se envasa en tanques de acero inoxidable, bajo una atmósfera de nitrógeno.

El equipamiento de la planta consta de elementos electromecánicos y de estructuras que pesa más de 27.000 tn e incluye, entre otros, 2 líneas de producción independientes de 100 toneladas por año (tn/año) cada una, 250 intercambiadores de calor, 240 recipientes, 30 columnas, 14 reactores, 2 reactores de síntesis de amoníaco de 2150 tn/día cada una) y 8 hornos de craqueo.

El consumo de combustible, agua y energía eléctrica de la PIAP es el siguiente: 700.000 Nm<sup>3</sup>/día de gas combustible, 54 Mw de potencia eléctrica y 700 m<sup>3</sup>/h de agua (Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E [ENSI S.E.], 2021a). En la Figura 1, se aprecia una vista general de la PIAP.

**Figura 1. Vista general de la PIAP**



Fuente: <https://mase.lmneuquen.com/agua/retoman-planes-recuperar-la-planta-agua-pesada-arroyito-n829035>

### **3.3 Producción de la PIAP**

Con la reactivación de la construcción de la CNA II, en 2006, ENSI firmó un contrato con NA-SA para la provisión de 600 tn de agua pesada grado reactor. Este contrato establecía que ENSI no tendría margen de utilidad en el precio fijado ni otras fuentes de financiamiento para la operación de la PIAP. Al mismo tiempo, NA-SA debía suministrar a ENSI la energía eléctrica y el gas natural necesario para la producción de las 600 tn de agua pesada. Luego ese contrato, se extendió a 689 tn, de las cuales 637 estaban destinadas a la carga inicial de la CNA II y 52 para cubrir las necesidades de la CNA I y la CNE.

En 2014 se suscribió un nuevo contrato con NA-SA para la producción de 10 tn como incremento de la reserva operativa para las centrales en operación. Por otro lado, suscribió un contrato con CNEA por 6 tn para el proyecto del reactor multipropósito RA-10.

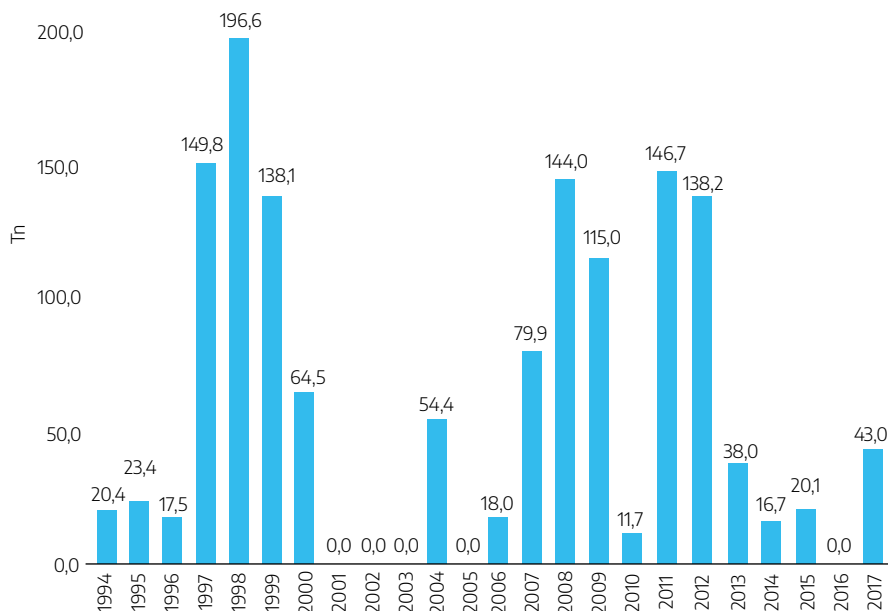
Al año siguiente, otro contrato con NA-SA preveía la provisión de 35 tn como reserva operativa. Las condiciones comerciales del contrato establecían un precio cerrado que no incluía los costos de inversiones para equipamiento crítico, es decir, intercambiadores de calor. Para el suministro de energía eléctrica y gas natural se establecían las mismas condiciones que el contrato de 2006. Sin embargo, algunas demoras producidas por fallas en los intercambiadores de calor provocaron un incumplimiento parcial del contrato con una producción final de 20,8 tn. Como consecuencia de esta situación, ENSI solicitó a la Secretaría de Energía de la Nación, con carácter de excepción, una partida presupuestaria para el periodo junio-diciembre de 2015 a fin de cubrir las inversiones, los gastos emergentes de la realización de las tareas de mantenimiento de parada de planta, puesta en marcha y producción de las 14,2 tn restantes, la cual fue otorgada en agosto de 2015 mediante la Resolución 210 de la Secretaría de Hacienda.

Durante 2016 el Ministerio de Hacienda asignó una partida presupuestaria que permitió reactivar la producción de agua pesada con la consecuente culminación de los compromisos asumidos con NA-SA y mantener una producción sostenida hasta fines de mayo de 2017, lo que permitió lograr un *stock* de 30 tn.

Con el cierre del contrato de 30 tn con NA-SA, se extinguió la obligación de esta última de suministrar el gas natural y la energía eléctrica a su costo. En mayo de 2017, la Secretaría de Energía hizo lugar al pedido de NA-SA e instruyó a la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA) a facturar, a partir del 22 de febrero de 2017, a ENSI en carácter de gran usuario mayor, los cargos por potencia y energía abastecida a la PIAP. A partir de esa fecha, ENSI debió afrontar los costos requeridos para la continuidad en la producción hasta fines de mayo de 2017, año en que se detuvo la operación.

En resumen, la PIAP produjo en total más de 1436 tn de agua pesada, de las cuales 825,06 se destinaron para satisfacer los requerimientos del sector nuclear argentino y 610,94 se exportaron a los países citados anteriormente (Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. [ENSI], 2021b). En el Gráfico 1 se observa la evolución de la producción para consumo del sector nuclear argentino.

**Gráfico 1. Producción de agua pesada grado reactor. PIAP 1994-2017 (en tn)**

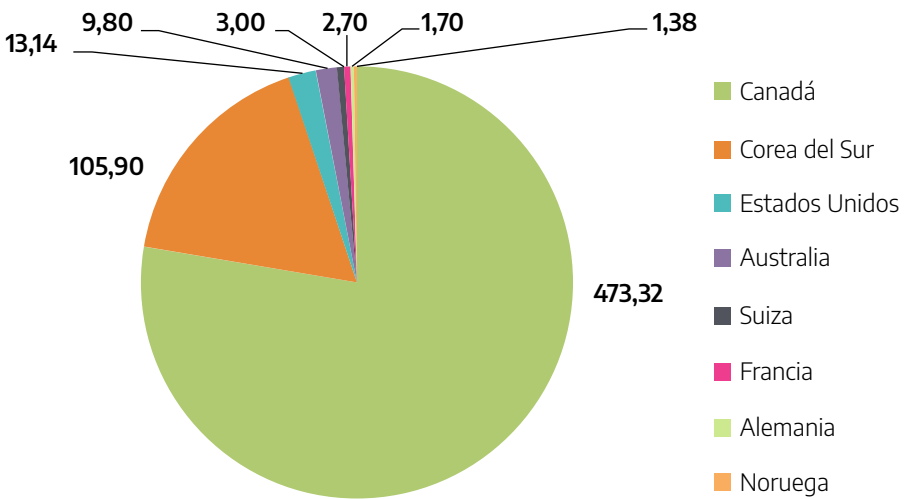


Fuente: elaboración propia con base en ENSI S.E. (2021b)



Cabe aclarar que, en los años 2001, 2002, 2003, 2005 y 2016 la PIAP no tuvo producción. Por otro lado, en el Gráfico 2, puede observarse la exportación de agua pesada.

**Gráfico 2. Exportación de agua pesada grado reactor. PIAP 1994-2017 (en tn)**



Fuente: elaboración propia con base en ENSI S.E. (2021b)

Sobre la parada de producción de la PIAP, Bisauta agrega:

De 2012 a 2022 la planta produjo 120 tn de agua pesada. Entonces, una planta que está diseñada para 180 tn por año, en 10 años hubiera producido 800 o 900 tn. El Gobierno de Cambiemos (la Secretaría de Energía de Juan José Aranguren) tomó la decisión de cerrar la PIAP. Y no se logró. La PIAP está vigente y con capacidad de producir. Se produjeron, hasta 2012, las tn suficientes para la CNA II. En 2017 se produjo con recursos que habían

quedado del Gobierno de Cristina Fernández (la PIAP tenía asignado el presupuesto para 2016). Además, había un plan nuclear vigente con un eje preciso que era poner en marcha la CNA II, la ley de 2009 para darle continuidad al plan nuclear y la finalización de la CNA II, el proyecto de las dos centrales CANDU, el CAREM como proyecto y el PEV de la CNE. Entre 2008 y 2011, se visitaron varios países buscando la tecnología que debía seguir Argentina. Y había, en ese momento, una disquisición muy importante que era continuar con el plan CANDU cuando AECL se estaba desactivando. De hecho, el PEV de la CNE se demora en su inicio por esta razón... y la producción de agua pesada canadiense se estaba desactivando. Ahí, Argentina tiene un bache importante, porque el PEV debía haberse iniciado cuando se finaliza la CNA II, y se empieza en otro momento. Y había dos condiciones que demoraron ese inicio: la financiación y los materiales que tenían que ser provistos por AECL, que estaba sufriendo la crisis producto del no funcionamiento de sus dos reactores de investigación. Entonces, el proyecto, que iba sobre rieles, comienza a tener dificultades. Y no es solamente por una decisión de Argentina

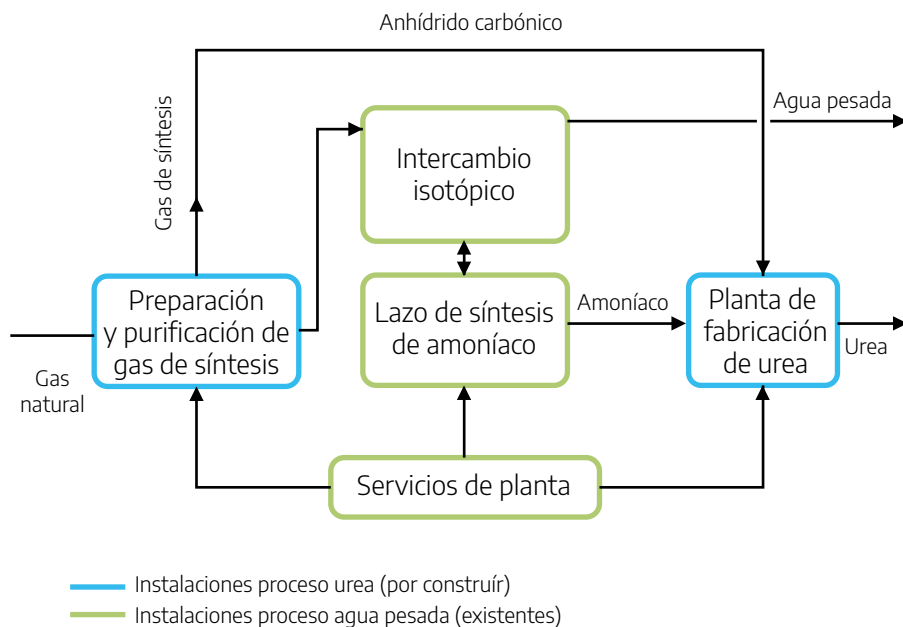
Allí, Argentina comienza a mirar no solamente qué tecnología iba a usar, sino quién iba a financiar. Y al no tener firmado el Club de París, Canadá no financiaba su parte del PEV de la CNE. Y eso le quitaba valor al proyecto CANDU, porque había que hacer inversiones en todo el *hardware* de la tecnología de control del reactor, turbina, etc. Y ahí aparecen las negociaciones donde se empieza a vincular con China, que tiene tecnología CANDU y vínculos con Canadá, y comienza a armarse una triangulación que ponía en valor el proyecto CANDU, el proyecto Hualong y el PEV de la CNE. Este último proyecto no tiene una financiación china. Sí hay financiación de la Corporación Andina de Fomento (CAF), y la continuidad de la PIAP está atada a ese proceso. Si bien la PIAP termina la producción para la CNA II en 2012, se financia de 2013 a 2015 el *upgrade* y se producen 90 tn en esos

tres años. Este mismo impulso lleva a que en 2015 haya un presupuesto del Tesoro asignado para producir agua pesada y ahí se produce el cambio de administración, que recorta esos recursos y se ve claramente la no continuidad del plan nuclear que afecta a la continuidad de la PIAP. El Subsecretario de Energía Nuclear, Julián Gadano, en 2016 dice que la PIAP tiene una viabilidad de producción de 10 años, y en marzo de 2018 dice que no hay más plan nuclear con CANDU. Y eso solo en dos años. Entonces, el proceso de transición entre producir agua pesada por 10 años en el 2016 y marzo de 2018, cuando Cambiemos decide bajar el proyecto CANDU, le quita la sobrevida a la PIAP (M. Bisauta, comunicación personal, 26 de octubre de 2022).

### **3.4 El proyecto de planta de fertilizantes anexa a la PIAP**

Es usual que las plantas de agua pesada tengan una planta de fertilizantes anexa, especialmente las canadienses y las indias. Y esto se debe a que en el mismo proceso de producción de agua pesada se produce también amoníaco en un circuito cerrado. De esta manera, al instalar una planta de este tipo, se abre el circuito y se entrega el amoníaco como insumo a la planta de urea. Y la planta de urea le entrega a la de agua pesada el hidrogeno para producir amoníaco, de tal manera de cerrar el circuito. Este proceso y sus ventajas técnicas se pueden observar en la Figura 2.

**Figura 2. Planta de fertilizantes acoplada a PIAP**



Fuente: ENSI (2021a)

El proceso se logra mediante la apertura del ciclo síntesis-intercambio isotópico-*cracking* de PIAP, que permite el ingreso de una corriente fresca de gas de síntesis proveniente de una planta de *steam reforming* de gas natural. De esta manera, se logra extraer de la PIAP las cantidades de amoníaco equivalentes para la producción de urea deseada.

En 2021 se presentó un análisis del estudio de factibilidad para este proyecto. Allí se analizó la factibilidad de integración de una planta de fertilizantes que produzca urea con la PIAP y se determinó que la integración es técnicamente posible, que se puede extraer amoníaco suficiente para producir 1 millón de tn por año de urea y que la sinergia de

integración generará menores costos de producción. Entre sus ventajas más importantes se encuentran ahorros significativos en la inversión inicial y una reducción de los costos operativos.

Entre otras ventajas, pueden citarse: la disponibilidad de terreno, aun para ampliaciones; la disponibilidad de las principales materias primas (gas natural, energía eléctrica y agua) en el área; la disponibilidad de los servicios de planta, como captación y de tratamiento de agua, agua de enfriamiento, aire de servicios, nitrógeno, vapor de baja y media presión, etc.; la disponibilidad de grupos de operación y mantenimiento expertos en amoniaco; la disponibilidad de servicios de laboratorio fisicoquímico, ingeniería y capacitación, de servicios de emergencias, de medicina y de seguridad industrial; y un uso optimizado de servicios logísticos, administrativos, de suministro y recursos humanos.

Además, se determinó que la producción de urea y de agua pesada es posible en forma conjunta y también separadamente cuando alguna de las instalaciones no se encuentre operativa o en etapa de mantenimiento, y que el consumo de gas natural de las nuevas plantas es de 1,6 mm Nm<sup>3</sup>/día (aproximadamente el triple del consumo de la PIAP).

Como conclusión, en el citado informe se señala que la producción simultánea de agua pesada y urea arrojaría un total de un millón de tn/año de urea. Además, se advierte que existe una reducción en la inversión de capital del 17 %, y se establece tres años y medio como tiempo total de construcción y un menor consumo de gas en el complejo integrado. Adicionalmente, se estima un descenso en la capacidad de producción de agua pesada del orden del 5 % como mínimo, a confirmar en la práctica.

En resumen, las ventajas económicas del proyecto incluyen los siguientes aportes:

- Una planta de fertilizantes integrada de escala mundial puede alcanzar una economía competitiva, con sustanciales ahorros en el costo de capital si se usa una porción de la capacidad instalada de síntesis de amoníaco.
- La creciente demanda de fertilizantes nitrogenados de la región y la sustitución de importaciones pueden ayudar a justificar proyectos productivos de escala mundial.
- Compartir la infraestructura y los servicios permite generar una importante reducción de los costos operativos.
- Optimización de los costos de ambas plantas. Existen unidades de servicios, de mantenimiento, el reactor de amoníaco, etc. en común. Esto redundaría en una reducción de los costos en la inversión inicial y en la operación continua de los dos procesos que funcionan las 24 horas los 365 días del año. Es decir, hace más viable económicamente la operación de ambas plantas.
- Si no se produce agua pesada, se pueden poner en marcha los sectores que producen amoníaco para la planta de fertilizantes, aunque lo ideal es hacer ambas cosas al mismo tiempo (ENSI, 2021a).

Este proyecto hoy está a la búsqueda de inversores, junto con el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.

### 3.5 Otras actividades de ENSI

En 1995, ENSI decidió diversificar sus actividades y creó una nueva unidad de negocios tendiente a brindar servicios a otras empresas, principalmente del sector energético (petróleo y gas) tanto de la cuenca neuquina como de otras regiones. Entre estos servicios, puede citarse el monitoreo por condición de equipos (análisis de vibraciones, termografía infrarroja, inspección con drones, inspección videoscópica, inspección con georadar y radiodetección de cañerías soterradas, etc.); la gestión de monitoreo ambiental y seguridad laboral; la gestión de activos medioambientales y laborales; el laboratorio de metrología; el laboratorio de análisis fisicoquímicos; la supervisión, la operación y el mantenimiento de yacimientos; etc. Entre los principales clientes de ENSI se encuentran: CNEA, Oldelval, YPF, Oilstone, Pluspetrol, Shell, Panamerican Energy, Total Austral, Tecpetrol, etc.

Respecto a la actualidad de ENSI, Bisauta aclara que

ENSI, al estar enclavada en lo que hoy es uno de los polos petroleros más importantes [Vaca Muerta], y habiendo desarrollado allá por los 2000 el área de servicios, hoy esa área tiene 900 trabajadores y alcanza una madurez que la posiciona entre las mejores prestadoras de servicio en el campo, sin descuidar el activo PIAP. Hoy, CNEA tiene un acuerdo de conservación con ENSI. Y el Gobierno de Cambiemos, como no tenía recursos para atender a las empresas estatales, firma en 2019 ese acuerdo de conservación. Entonces, CNEA transfiere los fondos a ENSI (M. Bisauta, comunicación personal, 26 de octubre de 2022).

# 4

## Situación de la PIAP a fines de 2022

Finalizados los compromisos asumidos con NA-SA y con el Proyecto RA-10 de la CNEA, y agotados los recursos financieros gestionados por el Ministerio de Energía y Minería para 2017 y el financiamiento de la Unidad de Negocios de Servicios para afrontar pagos salariales, la empresa careció de capacidad financiera para afrontar los gastos corrientes de la planta, y el pago de las deudas generadas por energía eléctrica y gas natural.

A principios de 2018, en reuniones celebradas con la Subsecretaría de Energía de la Nación (SSEN), se acordaron los términos para refinanciar los gastos corrientes para el primer semestre de ese año. Por otra parte, los cambios sufridos por el Plan Nuclear Argentino durante el mismo año, como consecuencia de la suspensión de la construcción de la quinta central (de tipo CANDU) y la falta de presupuesto para la producción de un *stock* de reserva de agua pesada para las centrales en operación truncaron el futuro de la actividad de producción de agua pesada en la PIAP.

Luego de arduas negociaciones con la SSEN y NA-SA, ENSI logró el compromiso de esta última para la compra del *stock* remanente de agua pesada a partir del segundo semestre del 2018. Esa venta permitió contar con una inyección de recursos financieros para atender los gastos corrientes, las deudas con proveedores y saldar la deuda por el gas natural.



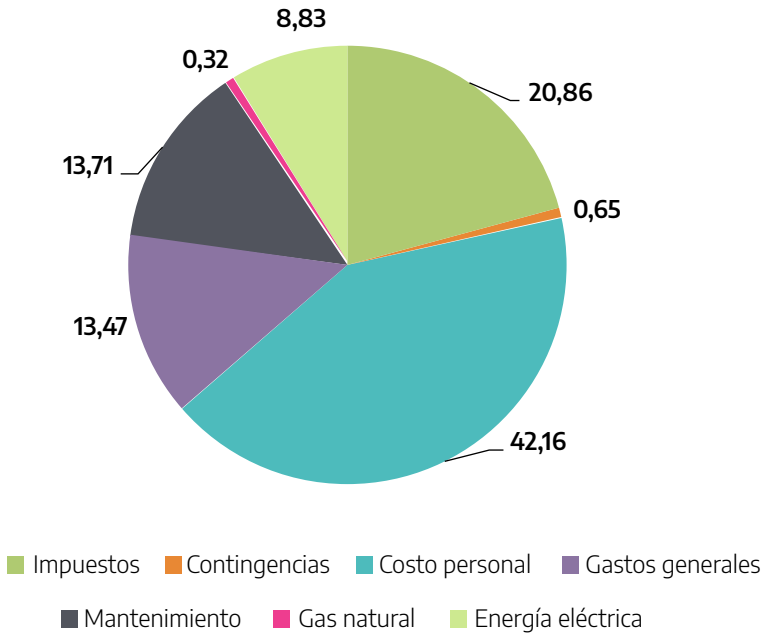
Una vez alcanzadas las condiciones establecidas para que la CNEA pueda dar inicio a la solicitud de un presupuesto para el financiamiento de las tareas de conservación del activo PIAP, se procedió, en noviembre del 2019, a la firma de un acuerdo para el desarrollo del Plan de Conservación de PIAP, el cual se suscribió como parte del contrato marco CNEA-ENSI vigente. Este presupuesto solo contempló los gastos corrientes necesarios para realizar un mantenimiento de conservación por un período de 12 meses, al tiempo que no contemplaba la cancelación de la deuda preexistente producto de la actividad de la PIAP. A fines de 2020, se acordó con CNEA extender el acuerdo de conservación para 2021.

Posteriormente, en un documento realizado por ENSI (2021b) titulado «Informe de continuidad», se plantean dos alternativas sobre la situación futura de la PIAP: la Alternativa I, para conservación, sin producción y con un plazo de 24 meses, y la Alternativa II, para conservación, alistamiento y producción con un plazo de 34 meses.

Por un lado, la Alternativa I plantea que, mientras se define si el Plan Nuclear Argentino contará en el futuro con un nuevo reactor de tecnología CANDU y se analiza la posibilidad de contar con presupuesto para la producción de un *stock* de reserva de agua pesada para las centrales nucleares en operación, resulta conveniente considerar la extensión del actual esquema de conservación del activo PIAP por 24 meses. Una vez transcurrido este tiempo, se deberá evaluar qué acciones se llevarán adelante en función de si se requerirá producir agua pesada o se deberá acondicionar las instalaciones para una parada extendida en el tiempo.

Para la Alternativa I, se presenta un presupuesto de USD 22.700.000<sup>2</sup> desagregado de la siguiente manera:

**Gráfico 3. Presupuesto Alternativa I (en %)**



Fuente: elaboración propia con base en ENSI S.E. (2021b)

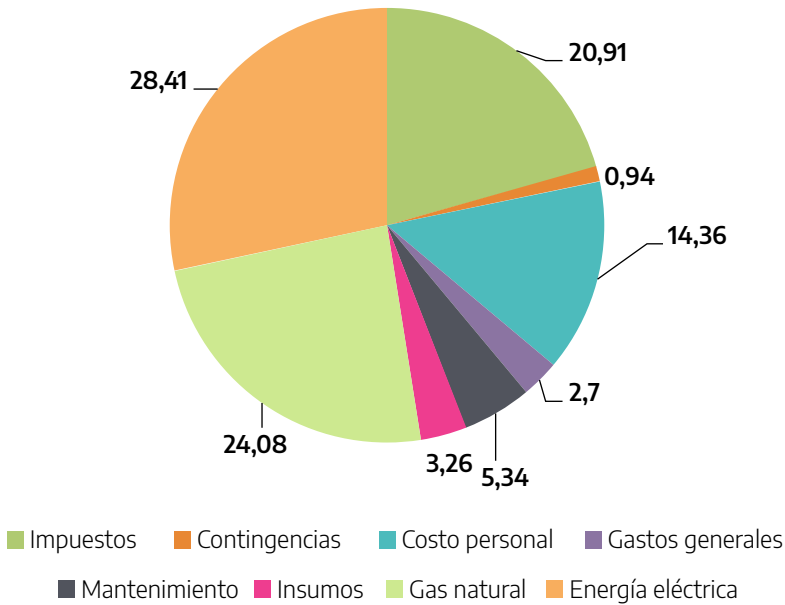
Por otro lado, la Alternativa II plantea que, para el caso que el Plan Nuclear Argentino contemple la necesidad de contar con provisión de agua pesada para *stock* de las centrales nucleares actuales y/o la ejecución de nuevos proyectos de centrales CANDU, el esquema planteado en la Alternativa I se deberá adecuar para alistar el equipo humano que lleve adelante la operación de la PIAP, como así también llevar adelante un etapa de

<sup>2</sup> Este presupuesto está tomado a valor del tipo de cambio mayorista (Comunicación "A" 3500 del Banco Central de la República Argentina al 31/12/2022).

*precommissioning* de las unidades operativas y de servicios de la PIAP. Estas tareas requerirán la incorporación y el entrenamiento de personal operativo y profesional, además de la adquisición de repuestos y materiales nacionales e importados.

Para la Alternativa II, se presenta un presupuesto de USD 112.500.000<sup>3</sup> desagregado de la siguiente manera:

**Gráfico 4. Presupuesto Alternativa II (en %)**



Fuente: elaboración propia con base en ENSI S.E. (2021b)

<sup>3</sup> Este presupuesto está tomado a valor del tipo de cambio mayorista (Comunicación "A" 3500 del Banco Central de la República Argentina al 31/12/2022).

## Sobre este informe, Lisse aclara que

En dicho documento se contextualiza la situación. Explica bien qué es ENSI hoy. Cuando hablás de ENSI todos la ubican con la PIAP, lo cual está bien y estamos orgullosos, porque ahí adquirimos todo nuestro *know-how*, pero hoy ENSI es mucho más que eso. Allí explicamos por qué estamos como estamos y a partir de allí el estudio del costo de poner en marcha la planta nuevamente. Hay deterioro por antigüedad de algunos equipamientos, por ejemplo, la instalación eléctrica de media y alta tensión, no porque haya habido mal mantenimiento, sino porque tiene más de 40 años. El sistema de control es de 2014, tecnología 2010-2012, y hay que modernizarlo. No tiene sentido modernizar el sistema de control si no tenemos fecha de puesta en marcha, porque en dos años queda obsoleto nuevamente. En marzo de 2022, la estimación era de USD 142 millones, en un plan de 25 meses, para dejar la planta en condiciones de comenzar un proceso de puesta en marcha. El mayor costo está en incorporación de personal y capacitación. Más del 50 % es el costo energético de producir agua pesada. El costo de personal, en el proceso de puesta en marcha, es casi el 70 %, porque el daño más grande que produjo el Gobierno de Cambiemos en este tipo de plantas, que son únicas en el mundo, es la pérdida del *know-how*. Para darse una idea, de proceso nos queda un solo ingeniero: no hay un ingeniero electricista para la puesta en marcha. De los que participaron en puesta en marcha, que eran 105, deben quedar 10. Porque la planta tuvo un proceso de renovación y los que participaron en la puesta en marcha o se jubilaron o se fueron con retiros voluntarios a la industria hidrocarburífera. Cada vez que se para la planta, se pierden recursos humanos de alta capacidad, no tanto por lo salarial, sino por la estabilidad laboral (F. Lisse, comunicación personal, 26 de octubre de 2022).

Finalmente, para el período enero-junio de 2022, ENSI (2022) presentó una adenda para la puesta en producción de la PIAP. En ese documento, la empresa plantea que resulta necesario redefinir el alcance con base en el conocimiento actual que se posee sobre la necesidad de contar con provisión de agua pesada para *stock* de las centrales nucleares en funcionamiento y/o ejecución de nuevos proyectos de centrales CANDU. En este sentido, se plantea que el futuro de la PIAP se encuentra en lograr un proyecto técnico y económicamente viable, para la producción en el corto plazo del agua pesada virgen grado reactor que cumpla con los requerimientos y necesidades expuestas por NA-SA.

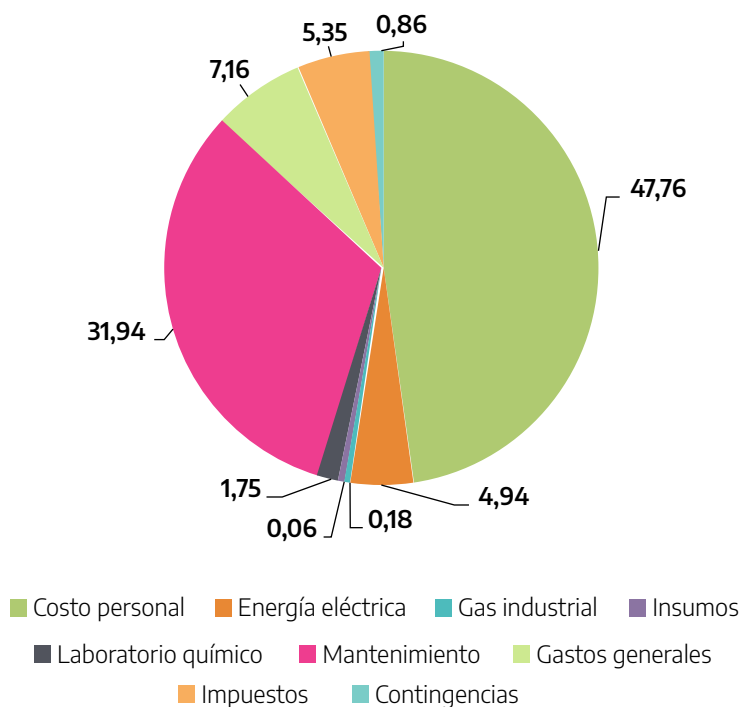
Este nuevo horizonte de producción para la PIAP conllevaría beneficios tales como la futura importación de agua pesada y cumplir con la Ley 24.804 de 1997 (Ley Nacional de la Actividad Nuclear) que, en su artículo 38, establece que el agua pesada para las centrales nucleares debe ser contratada a la PIAP. Además, retomar la continuidad operativa de la PIAP conllevaría reactivar una importante fuente de trabajo donde desarrollan sus actividades un grupo importante de profesionales y técnicos de operación, mantenimiento, laboratorio, logística, administración, etc. Esto genera, además, un efecto multiplicador en otras actividades afines y otorga valor agregado en origen al gas producido en los reservorios de la formación de *shale* en Vaca Muerta (ENSI S.E., 2022).

Para llevar adelante esta propuesta, ENSI S.E. plantea un conjunto de tareas denominado *precommissioning*, con un plazo de 25 meses y una inversión total aproximada de USD 142 millones<sup>4</sup> desagregado de la siguiente manera:

---

<sup>4</sup> Este presupuesto está tomado a valor del tipo de cambio mayorista (Comunicación "A" 3500 del Banco Central de la República Argentina al 31/12/2022).

Gráfico 5. Presupuesto de *precommissioning* (en %)



Fuente: elaboración propia con base en ENSI S.E. (2022)

Sobre la actualidad y posibilidades de la PIAP, Bisauta afirma que

Para producir agua pesada en forma viable económicamente, necesita producir y financiar como mínimo 90 tn por año. No puede financiar 10, 15 o 20 tn que es lo que hoy necesitan las tres centrales. Entonces, cuando se habla de producir agua pesada y se habla de dónde y para qué, el para qué es el proyecto CANDU, el dónde es en la PIAP, el cuándo es a partir de que esté el financiamiento para el proyecto CANDU. La producción de agua pesada es finita. No hay centrales CANDU proliferando por el mundo y a

las cuales uno pueda abastecer. 10 años, 15 años, pero es finita, como fue finita en 2012. CNEA, desde 1983/1984, vino desarrollando la tecnología del prototipo CAREM de uranio enriquecido y agua liviana. Y el CAREM comercial va por ese camino. Retomando el tema del agua pesada. Puede existir un puente entre la producción de agua pesada, el activo PIAP y su reactivación, que es la planta de fertilizantes. Hoy es fertilizantes. En un futuro no tan lejano, puede ser a la producción de hidrógeno. Pero son dos puentes para construir en función del Plan Nuclear Argentino. Y el plan nuclear debe marcar dónde quiere ir Argentina con su matriz energética (M. Bisauta, comunicación personal, 26 de octubre de 2022).

Sobre estos mismos temas, la doctora Adriana Serquis, actual presidenta de la CNEA, asegura:

Tiene sentido reactivar la PIAP, sobre todo, para poder suplementar el agua pesada que van a requerir las tres centrales que actualmente están operando. Hay un cálculo de NA-SA argumentando que se necesitan aproximadamente a 485 tn para el funcionamiento de las tres centrales, más el PEV de la CNA I que no estaba dentro de ese cálculo. Con lo cual, si la Secretaría de Energía aprueba el PEV para la CNA I, hay que poner nuevamente en marcha la PIAP. Por otro lado, en el mundo existen requerimientos para otros usos como los industriales y medicinales, para lo cual ya tenemos pedidos de presupuestos de Corea del Sur, Canadá, Japón, etc. En este sentido, existe un mercado actual de agua pesada para usos no nucleares de 350 a 400 tn/año (según lo que nos informara Isowater de Canadá), que hoy tiene muchas dificultades de abastecimiento. Tenemos siete empresas de Europa, Asia y América del Norte, que en este momento estarían dispuestas a comprar y que han expresado formalmente intenciones para 2025, cuando comience la producción de la planta. Obviamente, la construcción de una nueva CANDU reforzaría la decisión de reactivar la planta. Pero, sin esta

nueva central, la planta igualmente debe reactivarse. Una nueva central es importante obviamente por el desarrollo y las posibilidades que tiene Argentina en este aspecto, ya que, por ejemplo, el PEV de la CNE tuvo un 90 % de integración nacional. No solo implica tener más nucleoelectricidad y una matriz energética más limpia, sino también garantizar el funcionamiento de una planta en la cual se invirtió mucho dinero, y que su paralización ya implicó que, en 2021, NA-SA debiera importar las 18 tn de agua pesada que se requerían para el funcionamiento actual. La planta tiene una dimensión de producción mucho mayor de lo que se requiere. Tiene dos líneas de producción para 100 tn anuales de las cuales se quiere poner en marcha una de ellas. Históricamente, ha tenido un promedio de 80 tn anuales por línea. Y eso es lo que buscamos. Si surgen nuevos requerimientos del exterior podría llegar a ser un poco más, pero la idea es comenzar un proceso que, al cabo de dos años, nos permita llegar a esa situación. Para la segunda línea hay una idea de reconvertirla, aprovechando la parte de amoníaco, para la producción de urea (planta de fertilizantes) y otros derivados del amoníaco. Hasta ahora parecía que no había interesados debido a la ecuación económica. De hecho, la Provincia de Neuquén hizo una licitación hace unos años para conseguir inversores. Para nosotros es importante remarcar que, si la planta está en pie y funcionando, va a ser mucho más fácil tener esa segunda posibilidad. Sobre todo, porque también podría llegar a ser una planta para tener renovables e incluso amoníaco verde o hidrógeno verde, y para poder hacer pequeñas pruebas piloto de energía eólica y solar para poder alimentar la planta. En este sentido, hemos firmado un convenio con Neuquén y con Y-TEC<sup>5</sup> con el objetivo de poder explorar un plan de negocios

---

5 «Y-TEC es una empresa de tecnología creada en 2013 por YPF (51 %) y CONICET (49 %), cuya misión es brindar soluciones tecnológicas al sector energético y formar especialistas para el desarrollo de la industria de la región (...). Está situado en la localidad de Berisso en un moderno edificio de 13.000 m<sup>2</sup> íntegramente dedicado a actividades de I+D, espacio que alberga el más moderno equipamiento e integra proyectos tecnológicos estratégicos donde participan expertos de la industria e investigadores especialistas del sistema científico tecnológico nacional» (<https://www.conicet.gov.ar/ytec/>).



viable para salir a buscar inversores para la segunda línea, siempre teniendo como prioridad la producción de agua pesada. Pero debemos garantizar un presupuesto para dos años seguidos. No nos sirve tener presupuesto solamente para el primer año, porque se necesita continuidad para formar gente nueva (A. Serquis, comunicación personal, 7 de diciembre de 2022).

En línea con estas definiciones, el 21 de diciembre de 2022, se reunieron la presidenta de la CNEA y el gobernador Omar Gutiérrez en la provincia de Neuquén para reafirmar el compromiso de puesta en marcha de la PIAP, además de acordar un plan para reactivar su funcionamiento<sup>6</sup>.

---

6 Para más información, ingresar a <https://www.argentina.gob.ar/noticias/neuquen-y-la-cnea-acordaron-un-plan-para-reactivar-la-planta-de-agua-pesada-piap>

## A modo de conclusión

La PIAP nació para producir un insumo imprescindible que se utiliza como moderador en las centrales nucleares, además de realizar numerosas exportaciones. En 2017 dejó de producir debido a la política llevada a cabo por la gestión de la presidencia de Mauricio Macri que implicaba la paralización casi total de los proyectos para construir nuevas centrales.

Sin embargo, a partir de lo analizado en el trabajo, se desprende que la PIAP no solo es necesaria para producir el agua pesada de las centrales actuales, sino también para poder abastecer en un futuro a las nuevas centrales cuya construcción está prevista por el actual Gobierno.

Por otra parte, también presenta una serie de ventajas tecnológicas que la convierten en una alternativa sumamente útil para diseñar nuevas estrategias para agregar valor industrial. Sus instalaciones y equipos se encuentran en un estado de conservación óptimo gracias al personal de la empresa operadora ENSI que llevó adelante los planes de mantenimiento. En efecto, están abiertas las posibilidades para convertir a la PIAP en un complejo industrial multipropósito, ya que la planta posee una unidad de síntesis de amoníaco con una capacidad de 4000 tn diarias y que puede utilizarse para producir amoníaco destinado a la elaboración de fertilizantes u otros productos como el hidrógeno verde o azul, según se trate de obtenerlo del agua del lago Arroyito o a partir del gas natural, respectivamente, y amoníaco, también verde o azul por los mismos motivos. La integración traería aparejada una serie de beneficios por mejor aprovechamiento de ambas plantas, que redundaría también en una reducción de los costos operativos.

Cuando la Argentina diseñó su ciclo del combustible para centrales de uranio natural y agua pesada, se tomó la decisión de construir una planta de agua pesada. El primer objetivo fue devolver toda el agua pesada alquilada a Canadá para la CNE. Una vez puesta en marcha, el agua pesada utilizada por el complejo nuclear fue de producción nacional. Además, el reactor de producción de radioisótopos exportado a Australia tuvo la primera provisión de agua pesada (50 tn) que se produjo en la PIAP.

Al momento de la redacción de este trabajo, se está trabajando en la posibilidad de reanudar la producción en la PIAP no solo para abastecer el mercado, sino también para exportar. La planta puede producir entre 90 y 100 tn al año, para lo cual se requeriría inversiones como las detalladas en el transcurso del texto. La posibilidad de anexarle una planta de fertilizantes haría sustentable esa inversión.

## Glosario

*Canadian Deuterium Uranium (CANDU)*: tipo de reactor nuclear desarrollado en Canadá, utilizado en centrales nucleares para la generación de electricidad en varios países del mundo (Canadá, China, Corea del Sur, Rumanía, India, Pakistán y Argentina [el reactor de la CNE es de este tipo]). La sigla refleja el papel clave del deuterio o agua pesada, que actúa como moderador de neutrones del reactor, una característica única de este tipo de reactores. También se diferencian porque están diseñados para utilizar uranio natural como combustible (en contraposición al uranio enriquecido) ([https://energyeducation.ca/Enciclopedia\\_de\\_Energia/index.php/Reactor\\_CANDU](https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Reactor_CANDU)).

*Detector de neutrinos*: la reacción nuclear de un solo neutrino produce un haz de partículas que crean una ráfaga de luz azul denominada «efecto Cherenkov». Esta luz reluciente es detectada por una matriz de sensores de luz óptica, llamados «módulos de óptica digital», que están congelados en el interior del hielo. La energía de cada neutrino, ya sea baja o extremadamente alta, nos dice cómo y dónde fue creado ([https://masterclass.icecube.wisc.edu/es/aprende/deteccion\\_neutrinos#:~:text=La%20reacci%C3%B3n%20nuclear%20de%20un,en%20el%20interior%20del%20hielo](https://masterclass.icecube.wisc.edu/es/aprende/deteccion_neutrinos#:~:text=La%20reacci%C3%B3n%20nuclear%20de%20un,en%20el%20interior%20del%20hielo)).

*Fisión nuclear*: reacción en la que el núcleo de un átomo pesado, al capturar un neutrón incidente, se divide en dos o más núcleos de átomos más ligeros llamados «productos de fisión». Durante el proceso emite neutrones, rayos gamma y grandes cantidades de energía. El núcleo que captura el neutrón incidente se vuelve inestable y, como consecuencia, se produce su escisión en fragmentos más ligeros, lo cual da lugar a una situación de mayor estabilidad. Además, en la reacción de fisión se producen varios neutrones que, al incidir sobre otros núcleos fisionables, desencadenan otras reacciones

de fisión que, a su vez, generan más neutrones. Este efecto multiplicador es conocido como «reacción en cadena». Para que se produzca, es necesario que se cumplan ciertas condiciones de geometría del material fisionable y se supere un umbral determinado de cantidad de este, conocido como «masa crítica» (<https://www.csn.es/documents/10182/927506/La+energ%C3%ADa+nuclear+%28Monograf%C3%ADa%29>).

*Precommissioning*: pruebas, comprobaciones y otros requisitos especificados en el contrato previo a la puesta en servicio, las pruebas de garantía y la finalización de las instalaciones.

*Shale*: roca detrítica de grano fino, con laminación paralela a la estratificación, que no ha sufrido metamorfismo. Puede contener hidrocarburos o gas natural.

*Steam reforming*: proceso para obtener hidrógeno ( $H_2$ ) a partir de hidrocarburos (sobre todo de gas natural) más extendido a nivel industrial en refinería y petroquímica. Consta de una serie de etapas donde el hidrocarburo reacciona con vapor de agua a alta temperatura para dar monóxido de carbono (CO) e  $H_2$ . Durante el proceso, el CO se convierte a dióxido de carbono y la correspondiente separación de hidrógeno de la corriente de salida (<https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/358-el-proceso-de-steam-reforming#:~:text=El%20steam%20reforming%20es%20un,2%20en%20refiner%C3%ADa%20y%20petroqu%C3%ADmica>).

*Tritio*: sustancia activa en la iluminación autógena utilizada en la autoradiografía, el marcaje radiactivo y en el diseño de armas nucleares para armas de fisión potenciados e iniciadores. Se genera algo de tritio en los reactores moderados por agua pesada cuando el deuterio captura un neutrón. Para la producción de una gran cantidad de esta sustancia son

necesarios reactores con flujos de neutrones muy altos o con una muy alta proporción de agua pesada para combustible nuclear, además de muy baja absorción de neutrones por otro material del reactor. El tritio tendría que ser recuperado por la separación de isótopos de una cantidad mucho mayor de deuterio, a diferencia del procedimiento actual mediante litio-6 (isótopo del litio), donde solo se necesita la separación química (<https://es.wikidat.com/info/agua-pesada>).

## Referencias bibliográficas

- Asociación de Profesionales de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la actividad Nuclear (26 de septiembre de 2011). Agua pesada argentina. [http://www.apcnean.org.ar/publicacion.php?id\\_publicacion=174](http://www.apcnean.org.ar/publicacion.php?id_publicacion=174)
- Aprea, J. L. (2013). Una mirada al agua pesada. *Hojitas de Conocimiento, Energía*, (13). <https://www.cnea.gob.ar/nuclea/handle/10665/1099>
- Azpiazu, D. y Schorr, M. (2010). *Hecho en Argentina: industria y economía, 1976-2007*. Siglo XXI Editores.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (1984). *Dirección Proyectos Agua Pesada. Resumen de actividades 1950-1983*. <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/18/085/18085808.pdf>
- De Dicco, R., Deluchi, F. y Ferrer, J. (2015). *Argentina puesta a crítico. Resultados y desafíos del Plan Nuclear Argentino*. Planeta.
- Echeverría, M. J. (6 de junio de 2014). Agua pesada argentina para el mundo. U-238. <https://u-238.com.ar/agua-pesada-argentina-para-el-mundo/>
- Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. (2021a). *Proyecto de planta de fertilizantes acoplada a la PIAP*. Documento provisto por la empresa al autor.
- Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. (2021b). *Informe de continuidad*. Documento provisto por la empresa al autor.
- Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. (2022). *Propuesta para reactivar la producción*. Documento provisto por la empresa al autor.
- Hurtado, D. (2014). *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología y desarrollo nacional (1945-2006)*. Edhasa.
- Lugones, M. (2018). Política nuclear y democracia en un contexto de reforma estructural. La cancelación del programa nucleoelectrico durante el gobierno de Alfonsín. En D. Aguiar, M. Lugones, J. M. Quiroga y F. Aristimuño (comps.), *Políticas de ciencia, tecnología e innovación en la Argentina de la pos dictadura*. Editorial UNRN.

- Silberman, E. y Cretella, R. (1963). Posibilidades argentinas para la producción de agua pesada (Informe N.º 90). <https://www.cnea.gob.ar/nuclea/bitstream/handle/10665/538/ciacInformeCNEA090ocrA9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zappino, J. (2022a). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(84).
- Zappino, J. (2022b). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(85).
- Zappino, J. (2022c). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV. El ciclo del combustible nuclear argentino: los casos de Dixitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(93).
- Zappino, J. (2022d). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo IV. El ciclo del combustible nuclear argentino: los casos de Dixitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP (CUINAP)*, 3(94).



## **Otros títulos del autor sobre la misma temática**

Cuinap 78: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 1

Cuinap 79: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 2

Cuinap 84: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1

Cuinap 85: Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 2

## CUINAP | Argentina, Cuadernos del INAP

Año 4 - N.º 119 - 2023

### Instituto Nacional de la Administración Pública

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

CP: C1035AAA - Tel.: 6065-2310 – Correo electrónico: [dinvesti@jefatura.gob.ar](mailto:dinvesti@jefatura.gob.ar)

**ISSN 2683-9644**

### Editor responsable

Leandro Bottinelli

### Coordinación editorial

Leticia Mirás

### Edición y corrección

Eugenia Caragunis

### Arte de tapa

Roxana Pierri

Federico Cannone

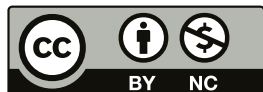
### Diseño y diagramación

Lucía Fernández Carrascal

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.

El 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 reproducir prejuicios y estereotipos que promuevan 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)

Abril 2023



Secretaría de  
Gestión y Empleo Público



Jefatura de  
Gabinete de Ministros  
**Argentina**