

# 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 1

Jorge Salvador Zappino

# 93

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 Dixitek S.A. y CONUAR S.A. Parte 1

Jorge Salvador Zappino

93

## **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 Historia del desarrollo argentino de elementos combustibles (EECC)</b>	<b>13</b>
<b>2 El ciclo del combustible nuclear</b>	<b>27</b>
<b>3 Características, historia y desarrollo de Dioxitek S.A.</b>	<b>33</b>
<b>4 Tecnología y desarrollo en Dioxitek</b>	<b>60</b>
<b>A modo de conclusión</b>	<b>63</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>66</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

La tradición nuclear en la Argentina nace en 1950 con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), con el objetivo de promover el estudio y el desarrollo de aquellos aspectos vinculados a la utilización pacífica de la energía nuclear.

Entre la década de los cincuenta y la de 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 contexto, en 1968 se iniciaron las obras de la primera central nuclear de potencia de Argentina y de América Latina, Atucha I. En 1973 comenzaría la construcción de la Central Nuclear de Embalse, Córdoba, inaugurada en 1984, y en 1980 comenzaría a construirse Atucha II, la cual fue puesta en operación en 2014, luego de que la obra estuviera paralizada entre 1994 y 2006. Todas estas centrales utilizarían uranio natural producido en la Argentina como combustible. En los comienzos del Plan Nuclear Argentino, el país se había decidido por la línea de reactores con uranio natural y agua pesada.

En este marco, el trabajo indaga sobre los desarrollos que condujeron al dominio total del ciclo del combustible nuclear en la Argentina y su aporte para el desarrollo tecnológico nacional. En esta primera parte de la investigación, se realiza un repaso de la historia del desarrollo argentino de elementos combustibles nucleares, las distintas fases del ciclo de producción y un desarrollo de la historia y características de la empresa pública Dioxitek S.A., responsable de la primera fase del ciclo.

## Palabras clave

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

## **Abstract**

The nuclear tradition in Argentina was born in 1950 with the creation of the National Atomic Energy Commission (CNEA), with the objective of promoting was to promote the study and development of those aspects related to the peaceful use of nuclear energy.

Between the 1950s and 1970s, a nuclear and industrial complex based on CNEA's scientific and technological facilities began to take shape throughout the country. In this context, in 1968 work began on the first nuclear power plant in Argentina and Latin America, Atucha I. In 1973, construction began on the Embalse Nuclear Power Plant, Córdoba, inaugurated in 1984, and in 1980 Atucha II would begin construction, which was put into operation in 2014 after the work was paralyzed between 1994 and 2006. All these plants would use natural uranium produced in Argentina as fuel. At the beginning of the Argentine nuclear plan, the country had decided on the line of reactors with natural uranium and heavy water.

This paper explores the developments that led to the total dominance of the Nuclear Fuel Cycle in Argentina and its contribution to national technological development. This first part of the text provides a review of the history of the Argentine development of nuclear fuel elements and the different phases of the production cycle and of the production cycle, as well as an analysis of the history and characteristics of the public company Dioxitek S.A., responsible for the first phase of said development cycle.

## **Key words**

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



## Introducción

«Pienso luego existo», decía Descartes. Y era la única premisa, la única verdad que resistía el poder corrosivo de su duda metódica. «Tenemos una industria propia, luego, nuestra nación existe» es verdad no menos evidente (Scalabrini Ortiz, 1957).

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.

Ese desarrollo estaba sustentado en la corriente de pensamiento latinoamericano en ciencia, tecnología y desarrollo de los años sesenta, la cual situaba en el centro del debate la necesidad de que las naciones del continente construyeran una estructura científica y tecnológica que fuera acorde a los objetivos de aquellos países, y brindara herramientas para superar las condiciones de subdesarrollo<sup>1</sup>. Para lograr este objetivo, las políticas activas de financiamiento e infraestructura eran fundamentales.

En ese contexto, entre la década del cincuenta y la de los setenta, comenzaría a conformarse en la Argentina un complejo nuclear e industrial basado en instalaciones científicas y tecnológicas de la CNEA a lo largo y ancho del país, entre las que se destacan el Centro Atómico Bariloche (CAB), el Centro Atómico Constituyentes (CAC) y el Centro Atómico Ezeiza (CAE). Además, se crearon carreras de grado y de posgrado en el Instituto Balseiro para formar especialistas en el área<sup>2</sup>.

---

1 Sobre esta corriente de pensamiento véanse Sábato y Botana (1968), y Zappino (2021a).

2 El Instituto Balseiro nació mediante un convenio firmado entre la CNEA y la Universidad Nacional de Cuyo.

De esa manera, la CNEA 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<sup>3</sup>.

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 a los polos productivos del Gran Buenos Aires y el Litoral. En 1973 comenzaría la construcción de la Central Nuclear de Embalse, Córdoba, inaugurada en 1984, y en 1980 comenzaría a construirse Atucha II, la cual fue puesta en operación en 2014 luego de que la obra estuviera paralizada entre 1994 y 2006. Todas estas centrales utilizarían uranio natural producido en la Argentina como combustible<sup>4</sup>, debido a que las restricciones internacionales existentes dificultaban desarrollar la tecnología de enriquecimiento (Colombo *et al.*, 2017).

La Argentina es uno de los doce países (Estados Unidos, Reino Unido, 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, esta tarea no estaba contemplada ya que el país se había decidido por la línea de reactores con uranio natural y agua pesada. Fue luego del

---

En 1993 se creó el Instituto Sábato y en 2006 el Instituto Dan Beninson, ambos en alianza con la Universidad Nacional de San Martín. La oferta académica puede consultarse en <https://www.argentina.gob.ar/cnea/formacion-academica/institutos-de-formacion>.

3 INVAP; Nuclear Mendoza S.E.; Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A. (ENACE); Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR S.A.); Dioxitek S.A.; Alta Tecnología Sociedad del Estado (ALTEC S.E.); Fábrica de Aleaciones Especiales S.A. (FAE); Córdoba Alta Tecnología S.E. (CORATEC); Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.E. (ENSI S.E.) para la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada de Arroyito; y Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA).

4 La CNA I fue reconvertida en 2001 para funcionar con uranio levemente enriquecido (ULE). Para más detalles, véase Zappino (2022a; 2022b).

endurecimiento del Tratado de No Proliferación Nuclear —creado como consecuencia de la explosión atómica en la India en 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 la Argentina decidió comenzar el desarrollo de la tecnología de enriquecimiento. Simultáneamente, se construyó una planta para fabricar agua pesada en Arroyito, Neuquén, cuya primera producción fue obtenida en 1994 (Barbarán, 2014)<sup>5</sup>.

Este proceso se paralizaría desde mediados de los años noventa. Luego del relanzamiento del Plan Nuclear en 2006, el gobierno argentino empezó a considerar que el enriquecimiento de uranio era imprescindible para que el país pudiera controlar el ciclo completo del combustible y, así, alcanzar la independencia tecnológica necesaria para generar energía nuclear con fines pacíficos.

Según Sábato, la clave para la autonomía y la autosuficiencia de la producción de la energía nuclear era desarrollar el «ciclo de combustibles del uranio» (Instituto de Tecnología Sábato, 1998). Superada la prueba de construir reactores, el paso siguiente era lograr alimentarlos en forma permanente y continua durante toda su vida útil con los elementos combustibles (EECC).

---

5 La Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) se encuentra en Arroyito, provincia de Neuquén. Se trata de la mayor productora de agua pesada del mundo y también la que tiene capacidad para producir con mayor pureza. El agua pesada está formada por oxígeno y deuterio, un isótopo del hidrógeno que tiene un protón y un neutrón, y es el elemento que se usa para refrigerar y moderar la velocidad de los neutrones generados en las centrales nucleares que funcionan con uranio natural. La construcción de la PIAP se inició en 1985 y comenzó a producir en 1994 para las centrales locales y también para exportación. En el año 2000 debió suspender su producción debido a los retrasos en la construcción de Atucha II, y luego la retomó en el año 2004. Su última gran producción fueron las 640 toneladas de agua pesada para Atucha II y se esperaba hacer otras 600 toneladas para una nueva central de tipo CANDU como parte del acuerdo con China, que fue suspendido durante la gestión del presidente Macri. En simultáneo, la planta fue desfinanciada y vaciada de personal. Desde 2017 la producción está suspendida (<https://www.unsam.edu.ar/tss/agua-paralizada>).

Este trabajo indaga sobre los desarrollos que condujeron al dominio total del ciclo del combustible nuclear en la Argentina y su aporte para el desarrollo tecnológico nacional.

El artículo se estructura en dos partes. La primera consta de cuatro capítulos y las conclusiones, además de esta introducción. En el capítulo 1, realizaremos un breve repaso de la historia del desarrollo argentino de EECC nucleares. En el capítulo 2, introduciremos algunos conceptos acerca de las cinco fases que involucran el ciclo del combustible nuclear. Se tratarán solamente las dos primeras fases del mismo, llevadas a cabo por la empresa Dioxitek S.A. En el capítulo 3, analizaremos las principales características, la historia y el desarrollo de esa empresa. En el capítulo 4, desarrollaremos los conceptos clave que permitan identificar a Dioxitek como un actor clave del ciclo del desarrollo nuclear en la Argentina. Finalmente, en las conclusiones resumiremos los aspectos principales del proceso y dejaremos preparado el camino para continuar avanzando en las fases del ciclo del combustible nuclear.

En la segunda parte, que constituye otro *Cuina*p, se analizan las tres fases finales del ciclo del combustible nuclear, llevadas a cabo en forma conjunta por las empresas CONUAR S.A., Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA) y NA-SA-CNEA, con énfasis especial sobre las principales características, la historia y el desarrollo de la primera.

# Historia del desarrollo argentino de elementos combustibles (EECC)

## 1.1 Orígenes de la minería del uranio en la Argentina

En la primera mitad del siglo XX comienza el proceso de industrialización en la Argentina y, como lógica consecuencia, se inicia un debate acerca del abastecimiento de la energía necesaria para el crecimiento industrial. Durante la Primera Guerra Mundial, sectores de las fuerzas armadas empezaron a interesarse en la situación de dependencia de la importación de carbón que provenía de Gran Bretaña. En este sentido, Rodríguez (2021) explica que el estallido de la Segunda Guerra Mundial contribuyó a profundizar aquellos temores. Si bien el petróleo comenzaba a desplazar al carbón como insumo clave del sector energético, la Argentina no contaba con grandes yacimientos. Por otra parte, el grupo de oficiales que había conquistado el poder político tras el golpe de 1943 pugnaba por el fomento de una industria nacional integrada como condición indispensable para garantizar la seguridad del país. Así, la producción de acero, aeroplanos, automóviles y la industria química en general pasaron a contar con la intervención directa del Estado (Iramain, 2021).

El gobierno y un grupo de militares de orientación industrialista, escribe Hurtado (2014), vieron en la energía atómica un camino para diversificar las fuentes de energía. En efecto, sería el general Manuel Savio quien insistiría en que era necesario iniciar el desarrollo de los yacimientos de uranio y comenzar la prospección geológica a través de una asociación entre Fabricaciones Militares y la Universidad de Cuyo. Savio presentó un decreto por el cual se proponía preservar los depósitos de minerales estratégicos para el área atómica, y se prohibía su exportación<sup>6</sup>. Por otro lado, en la Constitución de 1949 se declaró como bienes nacionales a los yacimientos de hidrocarburos. En ese momento, además, se incorporaron las primeras reservas de uranio.

Si bien no se habían encontrado grandes depósitos de uranio, aclara Hurtado (2014), la existencia de siete yacimientos en explotación permitía abrigar grandes esperanzas de que nuestro país estuviera suficientemente dotado por la naturaleza, en lo que a minerales radiactivos se refiere. En 1955, un equipo de geólogos de la CNEA realizó una prospección sistemática para detectar la presencia de minerales de uranio en todo el país.

Luego, durante los años sesenta, la CNEA llevó adelante diversas exploraciones y evaluaciones de zonas uraníferas en Córdoba, La Rioja, Salta, Chubut, Mendoza y Catamarca. En ese momento, dieron comienzo algunas explotaciones regulares. Estas exploraciones continuarían en la década siguiente con la explotación de los yacimientos Los Adobes en Chubut, Huemul y Sierra Pintada en San Rafael, Mendoza, y Don Otto en Salta. En 1982 se pondría en marcha la planta de conversión en Córdoba (futura Dioxitek S.A.) y la fábrica de EECC en Ezeiza (futura CONUAR S.A.)<sup>7</sup>. A partir de ese momento, las centrales nucleares fueron abastecidas con

---

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

7 La empresa CONUAR S.A. se estudiará en la segunda parte del trabajo.

EECC fabricados a partir de uranio extraído de yacimientos argentinos, principalmente del yacimiento de Sierra Pintada en San Rafael, Mendoza.

En los años noventa, en el marco del proceso de privatización del sector de energía eléctrica, la CNEA fue dividida y se creó la empresa estatal Nucleoeléctrica Argentina (NA-SA) para operar las centrales nucleares, declarada como «sujeta a privatización»<sup>8</sup>. En este marco, en 1995 la CNEA decidió detener la producción del Complejo Minero Fabril de San Rafael, el cual quedó finalmente inactivo cuatro años después<sup>9</sup>. Además del complejo de San Rafael, también fue decreciendo la actividad en otros lugares como Achala en Córdoba y Fiambalá en Catamarca. Desde entonces, todo el concentrado de uranio pasó a importarse<sup>10</sup>. Según Gallegos (2015), esta situación dejó a la Argentina en un punto débil en términos estratégicos, al depender de que los proveedores internacionales continuaran abasteciendo este elemento. Actualmente, la importación proviene principalmente de Canadá, Kazajistán y la República Checa.

## 1.2 Metalurgia, industria y reactores

### 1.2.1 La metalurgia en CNEA

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, el uso de la energía atómica con fines pacíficos trajo nuevos problemas. Uno de los más importantes era la escasa experiencia en trabajos con metales y compuestos propios de

---

8 Sobre este tema, véase Zappino (2022a; 2022b).

9 La CNEA realiza tareas de mantenimiento de las instalaciones y la continua mejora del control ambiental (Mendoza, 2020).

10 Para más información sobre este tema, pueden consultarse: Palamidessi (2006), Gallegos (2015) y Plaza (2003).

la energía nuclear tales como uranio, plutonio, etc. Ejemplos de problemas a resolver eran los cambios de volumen de las piezas de uranio, circonio, etc., en condiciones de cambios de temperaturas. Por otro lado, la emisión de radiación producía severos daños en los materiales.

En los inicios de los años cincuenta, la metalurgia no era, en la Argentina, una disciplina organizada y sistemática, y no se enseñaba como actividad académica. Esta materia había sentido el impacto de la termodinámica y la físico-química a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, principalmente en la parte extractiva y de reducción de minerales.

Según Sayán (2012), el desarrollo del sector nuclear en cualquier parte del mundo requiere de un trabajo intensivo en conocimiento científico y precisa una fuerte base de I+D. Por lo tanto, tiene un fuerte poder multiplicativo, ya que tracciona la modernización tecnológica de los medios productivos locales. Uno de los pasos más firmes en ese sentido fue la decisión de desarrollar, dentro de CNEA y por primera vez en nuestro país, la ciencia de la metalurgia, conocimiento estratégico que permitió el desarrollo de nuevos materiales.

De esta manera, en 1954 fue creada la División de Metalurgia, que fue puesta al mando del tecnólogo Jorge Sábato. El objetivo del área era el desarrollo de la materia en el país y la solución de problemas vinculados con el sector industrial. Entre estos desarrollos se encontraba la fabricación local de los EECC para un reactor de investigación.

Entre las primeras acciones llevadas adelante por el Departamento de Metalurgia<sup>11</sup> se encontraban las capacitaciones en áreas como cristalografía,

---

<sup>11</sup> Sobre el trabajo del Departamento de Metalurgia de la CNEA, véase Rivera (2010), Galvele (2009), Cirimello (2013) e Instituto de Tecnología Sábato (1998).



termodinámica, metalografía, solidificación, transformaciones mecánicas, extrusión, difusión, sinterizado, gases en metales, deformación por impacto del aluminio, etc.; con la colaboración de metalurgistas extranjeros<sup>12</sup>. Estas capacitaciones locales se completaron con estadías de profesionales argentinos en diversos laboratorios de aquellos países que habían enviado especialistas.

Para Sábato, era necesario contar con conocimientos propios en metalurgia y realizar el estudio de materiales, lo cual permitiría que el desarrollo autónomo del sector nuclear se posicionara en lo que denominaba la industria industrializante. Y en ese sentido, la clave para la autonomía y la autosuficiencia de la producción de la energía nuclear era desarrollar el ciclo de combustibles del uranio. La CNEA fijó esa política y continuó integrando los suministros y servicios del ciclo.

## 1.2.2 Reactores de investigación

En 1957, Oscar Quihillalt (por entonces presidente de la CNEA) trajo de Estados Unidos los planos de un reactor desarrollado en el Argonne National Laboratory de Chicago. Esta acción —mediante la cual nuestro país se planteaba la construcción del primer reactor de investigación— diferenciaba a la Argentina de otras naciones en desarrollo que habían comprado los reactores «llave en mano». Con este accionar, se iniciaba una estrategia conocida como «apertura del paquete tecnológico», mediante la cual la CNEA elegiría los componentes del reactor que pudieran ser desarrollados por la industria argentina y así, fomentaría la participación científica y el crecimiento de la industria local. De esta manera, se construyó el reactor

---

<sup>12</sup> Se convocó a especialistas de la Universidad de Birmingham (Reino Unido), de la École des Mines de Paris (Francia) y del Max Planck Institute (Alemania).

conocido como RA-1, que se instaló en el Centro Atómico Constituyentes y fue el primero en su tipo de América Latina. En la construcción del mismo participaron 32 empresas nacionales<sup>13</sup>.

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

En ese momento, la CNEA se planteó también la fabricación local de los EECC para el RA-1. En este sentido, Sábato plantea que este proceso cambiaría la historia de la metalurgia en la Argentina. Los EECC se harían con óxido de uranio  $^{308}\text{U}$  enriquecido al 20 %, luego se lo mezclaría con polvo de aluminio, y se introduciría en tochos de aluminio para extrudar las placas del elemento combustible (EC)<sup>14</sup>.

El primer prototipo de EC, de tamaño reducido, se obtuvo con una prensa manual para luego ponerlo a punto en una prensa más grande. Para conseguir las placas del EC debieron probarse muchas variables como la composición del aluminio, su geometría, las temperaturas de trabajo y el diseño de la matriz de extrusión. Posteriormente, llegaría de EEUU el  $^{308}\text{U}$

---

13 Para un desarrollo histórico de los reactores de investigación en Argentina véase De Dicco (2013) y Zappino (2021b; 2022a).

14 La extrusión consiste en dar forma a un lingote cilíndrico de aluminio, conocido como «tocho», haciéndolo pasar por una abertura especialmente dispuesta, denominada matriz. El método más común es la extrusión directa, donde la prensa presiona el tocho a través de la matriz (<http://www.extrual.com/es/noticias/articulos-tecnicos/la-extrusion-del-aluminio>).

enriquecido al 20 %. Finalmente, en la segunda semana de enero de 1958, se entregaron los EECC terminados. El RA-1 se pondría «a crítico»<sup>15</sup> el 17 de enero y fue inaugurado el 20 de enero de ese año<sup>16</sup>.

Este desarrollo permitió la exportación del know-how de esos EECC a la empresa alemana Degussa para su uso en un reactor ubicado en Berlín. Esta venta se constituyó en la primera exportación nuclear argentina. Luego del logro de los EECC del RA-1, el Departamento de Metalurgia de CNEA se ubicaría en el Centro Atómico Constituyentes (CAC)<sup>17</sup>.

### 1.2.3 Metalurgia e industria

En 1961 Sábato creó el Servicio de Asistencia Técnica a la Industria (SATI), el cual cumpliría un rol de consulta y desarrollo para el sector industrial. El SATI se formalizó a través de un convenio firmado entre la CNEA y la Asociación de Industriales Metalúrgicos (ADIMRA).

Para Quilici (2008), el SATI fue el corolario de un proceso de creación y divulgación industrial de tecnología. Con el objetivo de resolver los problemas de la demanda de conocimiento de la industria, la creación del Departamento de Metalurgia —de donde dependía el Servicio— representaría la capacidad que tuvo la institución de desarrollar, adaptar, divulgar y formar recursos humanos, en lo referente a la generación de tecnología endógena. Se produjo, entonces, un fructífero intercambio que conectó, en una

15 Término utilizado en física de reactores para describir la condición existente en la que el número de neutrones producidos por la fisión coincide con el número de neutrones absorbidos (por materiales fisibles y no fisibles) y fugados del reactor. Un reactor es, por tanto, crítico cuando se establece en él una reacción nuclear en cadena automantenida (<https://www.foronuclear.org>).

16 El reactor brasileño, comprado a Estados Unidos, se inauguró el 27 de enero del mismo año.

17 Estos laboratorios fueron inaugurados el 27 de julio de 1960 por el entonces presidente, Arturo Frondizi.

permanente realimentación, el conocimiento teórico con el desarrollo y la demanda industrial. Entre los objetivos del SATI se encontraban el servicio de consulta de la industria metalúrgica para aquellos problemas surgidos en los procesos de fabricación de metales y desarrollo de aleaciones, los controles de calidad, el acceso de la industria a información científica y técnica, la capacitación y el entrenamiento para técnicos y profesionales, entre otros.

El SATI se convertiría luego en un departamento de la Gerencia de Tecnología, el cual realizó diversos trabajos de aplicación a la industria en general. Wortman (1996) menciona varios trabajos realizados por el SATI, entre ellos: la colocación de un sistema radioactivo de detección de desgaste de refractarios en el mezclador de arrabio en Altos Hornos de Zapla; el desarrollo de una aleación de alta conductividad y alta resistencia para soldadura de la industria automotriz; el análisis de tallas de locomotoras GE de 1800 HP; trabajos de metalografía no destructiva de calderas industriales; entre otros. Según el autor, en ese momento comienza, para la Gerencia de Tecnología, una etapa de verdadera transferencia de tecnología al sector industrial.

Por otro lado, también se crearía el Instituto Nacional de Ensayos No Destructivos (INEND), pionero en el establecimiento de normas de calificación de soldadores y operadores de ensayos no destructivos. Uno de sus trabajos más importantes fue la capacitación de soldadores que, entre otros hechos, permitiría que más de 20.000 toneladas de equipamiento y cañería con requerimientos nucleares fueran montados íntegramente por proveedores argentinos durante la construcción de la Central Nuclear Embalse (CNE).

En 1963 la CNEA crearía el Comité de Centrales Nucleares que llevaría a cabo los estudios económicos, de ubicación, de ingeniería de reactores, del mercado eléctrico, de seguridad de reactores de potencia, y de la

contribución de la industria nacional en la construcción de la Central Nuclear Atucha I (CNA I)<sup>18</sup>.

La información preparada por el SATI permitió una importante participación de la industria nacional en la CNA I. Por otro lado, el trabajo del Departamento de Metalurgia de CNEA posibilitó la fabricación de los prototipos de los EECC para el reactor de potencia y preparar una planta piloto para fabricar estos elementos, lo que llevó finalmente a la creación de la fábrica de EECC.

### **1.3 Los orígenes de la fabricación local de los EECC para las centrales nucleoelectricas**

La provisión de los EECC de las centrales nucleares es fundamental a la hora de plantear un desarrollo pacífico de la energía nuclear, mediante la instalación de reactores de potencia para generar energía eléctrica.

El momento definitivo en el cual la Argentina decidió desarrollar los EECC, se produjo cuando se incorporó la generación nuclear a la matriz energética mediante la construcción de reactores de potencia. En ese momento, como ya se dijo, se eligieron los reactores de uranio natural, a partir del óxido de uranio y agua pesada. Esta decisión se tomaba, además, con la intención de profundizar la integración industrial.

Al momento de decidir la instalación del primer reactor de potencia en el país (CNA I), su construcción incluyó la compra de los EECC en el exterior. Sin embargo, CNEA ya había tomado la decisión de fabricarlos en el país, incluso antes de la construcción de la central. En este sentido, el primer

---

<sup>18</sup> Para más información sobre la construcción de la CNA I, véase Zappino (2022a).

intento fue un contrato con la empresa SIAM en 1969, mediante el cual se fabricó un prototipo de EC apto para el reactor de CNA I. El diseño había sido cedido por la empresa alemana Siemens. Las vainas<sup>19</sup> para los EECC se compraron en Suecia y las pastillas de óxido de uranio en su interior fueron sinterizadas<sup>20</sup> por técnicos argentinos del Centro Atómico Constituyentes. Sin embargo, el contrato con SIAM no prosperó.

A partir de allí, en 1971, la CNEA envía técnicos a la fábrica alemana RBU para adquirir el *know how* de la fabricación de los EECC para la CNA I. En ese momento, el uranio se extraía de las minas operadas por la CNEA mencionadas en apartados anteriores. El proceso debía culminar con la producción del denominado polvo de dióxido de uranio. A este fin, la CNEA adquiere una planta «llave en mano» a la firma alemana que se instalará en la ciudad de Córdoba. Esta planta continúa con ese trabajo hasta el presente bajo el nombre de Dioxitek S.A. El funcionamiento de esta planta será tratado en el capítulo 3.

Por otra parte, para completar el ciclo de suministro del combustible, la CNEA se abocó a los trabajos para el desarrollo de los componentes estructurales que serían fabricados con una aleación de circonio, a partir del cual se obtiene el zircaloy, que es la aleación final que se emplea en las vainas para ensamblar los EECC.

---

19 Las vainas son tubos, de algo más de 10 mm de diámetro, contruidos en una aleación metálica especial denominada zircaloy. Se trata de una aleación de circonio con trazas de estaño, hierro, cromo y níquel, utilizada en las vainas del combustible de reactores nucleares por sus propiedades mecánicas, su resistencia a la corrosión y su baja sección eficaz para la absorción de neutrones (<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/zircaloy>).

20 La sinterización es un proceso de fabricación de piezas sólidas moldeadas. Consiste en compactar a alta presión varios polvos metálicos o cerámicos mezclados homogéneamente. Una vez compactados, se realiza un tratamiento térmico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, y se obtiene una pieza consolidada y compacta.

Durante 1975 y 1976 comenzó la instalación de la planta industrial de fabricación de EECC. En este sentido, la CNEA puso en marcha dos proyectos simultáneos. Por un lado, la creación de la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN), con el objetivo de llevar a cabo las obras civiles y los servicios necesarios para la planta que se instalaría en Ezeiza. Luego, en 1981, la CNEA comenzaría las gestiones para transformarla en una empresa mixta en conjunto con la industria privada nacional. La nueva empresa se denominaría Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR S.A.), cuya historia y desarrollo trataremos en la segunda parte de este trabajo.

Por otro lado, la CNEA encaró la Planta Piloto de Fabricación de Elementos Combustibles Nucleares (PPFECN), que investigaría y desarrollaría las técnicas de fabricación de los EECC para la CNA I a fin de conseguir la escala de producción que necesitaba la central. Este emprendimiento se llevó a cabo en galpones del Centro Atómico Constituyentes, en conjunto con varios proveedores nacionales que construyeron diversas piezas estructurales de los EECC. El desarrollo culminó con el logro de una capacidad de producción de 1,5 EECC por día, que cumplía con los requerimientos de la central (Quilici, 2008).

La fabricación de los EECC para la CNE merece un análisis especial merece. Esta central, de tipo CANDU, se adquirió de la empresa AECL de Canadá y fue inaugurada en 1984<sup>21</sup>. La firma del contrato de construcción incluyó la transferencia de la tecnología para la fabricación de los EECC a la CNEA. Sin embargo, Canadá no cumplió con el compromiso<sup>22</sup>. A raíz de esa situación, la CNEA decidió encarar por sí misma la fabricación de los EECC para la CNE.

---

21 Para más información sobre el proceso de construcción de la CNE, véase Zappino (2022a).

22 La Argentina no había firmado aún el Tratado de No Proliferación (TPN), el cual imponía restricciones a esas transferencias.

Esto implicó el diseño a partir de los datos suministrados por AECL, pero sin la posibilidad de la interacción con esa empresa.

De esta manera, la CNEA creó un proyecto denominado Suministro Combustible para Embalse (SUCOEM). Quilici describe al mismo como estructurado en tres grandes líneas: a) el diseño de detalle y calificación, que culminó con la irradiación de nueve barras en un reactor experimental (NRC) de Canadá; b) el desarrollo de los procesos (soldadura por brazing<sup>23</sup>, coating<sup>24</sup> de grafito, pastillado, etc.) que se llevaron a cabo en distintas instalaciones de la CNEA; y c) suministro, desarrollo, construcción, instalación puesta en marcha del equipamiento, que se realiza directamente en las instalaciones de CONUAR.

El SUCOEM celebró un contrato de suministro con la empresa INVAP para el desarrollo del equipamiento. Dentro de los desafíos que implicaba este proyecto, la máquina para soldar los tapones a la vaina de las barras era uno de los más importantes. Esta fue adquirida en Estados Unidos, aunque antes había que obtener un permiso del gobierno canadiense. Como este fue denegado, la CNEA comenzó a desarrollar el diseño y la construcción del equipamiento necesario. Este desarrollo dio origen a una patente nacional e internacional. Posteriormente, la firma INVAP comercializó este equipo en el extranjero<sup>25</sup>. Mientras se llevaba adelante este proceso, se estaba poniendo en marcha la CNE y era necesario comprar el combustible a los proveedores canadienses (General Electric y Westinghouse).

---

23 La soldadura *brazing* hace referencia a un grupo de procesos de fundición de los materiales, donde se los calienta a una temperatura superior a los 450 °C en presencia de un material de aporte y por debajo de la temperatura de fusión del metal base. El metal de aporte es distribuido entre las superficies de la junta, las cuales se encuentran en estrecho contacto por acción capilar, generando así una unión de materiales muy fuerte (<https://doctorwelding.com/que-es-la-soldadura-brazing-o-soldadura-fuerte>).

24 Se trata de un revestimiento que se aplica a la superficie de un objeto, generalmente denominado sustrato [traducción del autor] (<https://en.wikipedia.org/wiki/Coating>).

25 Se vendía a la India y Rumania (Carasales y Ornstein, 1998).



La fase final del montaje de la fabricación del combustible y puesta en marcha de las instalaciones se llevarían a cabo directamente en la fábrica de CONUAR, con participación del personal técnico de la empresa. Este accionar facilitó y aceleró la posterior fabricación industrial. La producción del combustible, bajo responsabilidad de la CNEA, comenzó en diciembre de 1983 y se extendió hasta fines de 1987, período en el cual se produjeron 3000 EECC que fueron reemplazando paulatinamente a los combustibles canadienses.

En este momento, se produjo un hecho clave para el proceso de fabricación de los EECC: la CNEA crea la Fábrica de Aleaciones Especiales (FAE), que sería la encargada de la producción de aquellos elementos estructurales que forman parte de los EECC. El proceso se inicia en 1972, cuando Jorge Sábato obtuvo en la URSS las máquinas laminadoras para tubos de pared fina<sup>26</sup>. Dos años después, la CNEA crearía el Programa Tecnología de Circonio y sus Aleaciones<sup>27</sup>. Este programa desembocaría en dos sectores: la Planta Piloto de Fabricación Aleaciones Especiales (PPFAE), que desarrollaría la tecnología y montaría la máquina laminadora y otros equipos en el Centro Atómico Ezeiza y la Fábrica de Aleaciones Especiales (FAE), que realizaría la implementación industrial (Almagro & Kilt, 1983, como se citó en Quilici, 2010).

La creación de la FAE<sup>28</sup> comenzó con el diseño de la obra civil y de los servicios de instalación fabril, y la adquisición de otros equipos en Alemania. Tanto la licitación como la construcción —que llevó dos años— se llevaron adelante con personal de la CNEA y la colaboración de la empresa INVAP. La FAE fue financiada con presupuesto de la CNEA y el monto final superó los 20 millones de dólares. El proceso de los elementos estructurales para

26 Estas máquinas serían transferidas a la Argentina en el marco de los acuerdos con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

27 Estas acciones fueron producto de la decisión del Club de Londres, que declaró que el zircaloy también es material sensitivo.

28 La CNEA es autorizada a crear la empresa FAE S.A. mediante el Decreto 1088/1986.

los EECC incluía la laminación de las vainas a partir de semiterminados importados llamados trex (tubos de pared gruesa), así como la tecnología para la fundición de aleaciones de circonio<sup>29</sup>. Con proveedores nacionales se realizaron experiencias de forjado y extrusión de los lingotes provenientes de la fundición. Si bien por razones económicas y de escala se decidió seguir importando el trex, se puso a punto la fabricación de un semiterminado (barrotes) con los cuales se fabricarían en CONUAR diversas piezas para los combustibles<sup>30</sup> (Quilici, 2010).

La CNEA llamó a licitación pública a empresas nacionales para encontrar un socio mayoritario que operara las instalaciones. Además de la ya creada CONUAR, participaron dos empresas argentinas ligadas a la fabricación de tubos. Finalmente, resulta adjudicada CONUAR, resultando la creación de FAE S.A., con una participación accionaria de CONUAR S.A., con el 68 % y CNEA, con un 32 %. El estatuto de la nueva empresa establecía que debía ser de capital nacional y que no podía vender su capital accionario a una empresa externa. Además, otorgaba un poder de veto sobre las operaciones comerciales a la CNEA con el fin de proteger el dominio de la tecnología.

En 1988 CONUAR tomó la responsabilidad de la línea de producción y fabricó 2800 EECC que fueron irradiados en la CNE completando la serie de calificación. Respecto a las innovaciones sobre producto y proceso, CONUAR, sobre la base de la experiencia de muchos años de producción, realizó optimizaciones importantes de la tecnología de fabricación de los EECC CANDU (Quilici, 2008)<sup>31</sup>.

---

29 La empresa INVAP obtuvo un contrato de la CNEA para el desarrollo de la tecnología de obtención de la *esponja de circonio*, a partir del mineral. La esponja es la materia prima para la fabricación de lingotes utilizando el horno de arco en vacío instalado en FAE. Sin embargo, este proceso no se llevó a escala comercial.

30 Los separadores de los EECC para la CNA I.

31 Para mayor información sobre la adopción de la tecnología para la fabricación de los EECC de la CNE, véase Cirimello (2013).

## El ciclo del combustible nuclear

El ciclo del combustible nuclear<sup>32</sup> es el conjunto de operaciones que conlleva la producción del combustible utilizado por las centrales nucleares. Incluye, además, el tratamiento del combustible gastado durante la operación de dichas centrales.

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

Los EECC son conjuntos de vainas que contienen uranio y que, al ser colocadas en el núcleo del reactor y bombardeadas con neutrones, provocan la fisión nuclear<sup>33</sup>. Esta fisión produce el calor necesario para calentar el agua y formar el vapor necesario para accionar las turbinas que, como consecuencia, generarán la energía eléctrica.

---

32 Video ilustrativo sobre el tema disponible en [https://www.youtube.com/watch?v=s9\\_Bd8HvzIU&ab\\_channel=CNEAArg](https://www.youtube.com/watch?v=s9_Bd8HvzIU&ab_channel=CNEAArg)

33 La fisión nuclear es la división del núcleo de un átomo pesado como el uranio o el plutonio como consecuencia del impacto de un neutrón. Este impacto genera una reacción en cadena que libera energía en forma de calor. Al fisionar un núcleo impactado por un neutrón, libera otros neutrones que impactan en otros núcleos para producir nuevas fisiones. La energía que a nivel molecular liberan los explosivos clásicos como la dinamita o el TNT son del orden de decenas de electrón-volts (una unidad de energía utilizada a nivel atómico). En cambio, la fisión libera valores del orden de los millones de electrón-volts ([https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario\\_nuclear.html](https://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/glosario_nuclear.html)).

El ciclo transcurre en cinco fases, a saber:

- **PROSPECCIÓN Y EXTRACCIÓN:** mediante técnicas geológicas de cateo se determinan las zonas en donde es posible extraer uranio. El modo de extracción es mediante trituración de la roca.
- **CONVERSIÓN:** consiste en la transformación de la roca de uranio a dióxido de uranio mediante un proceso químico cuyo producto final es el polvo de dióxido de uranio de pureza nuclear grado cerámico ( $UO_2$ ).
- **FABRICACIÓN DE LOS EECC:** el polvo de dióxido de uranio es prensado y sinterizado para su conversión en pastillas cerámicas que luego serán colocadas en vainas formando varillas de combustible.
- **UTILIZACIÓN Y RECARGA DE LOS EECC:** las varillas de combustible se introducen dentro del núcleo de un reactor de potencia, en el cual se produce el proceso de fisión. Esto genera una reacción en cadena que produce calor, calienta el agua y forma el vapor que moverá una turbina conectada a un generador y, así, se produce la energía eléctrica<sup>34</sup>. El recambio de combustible es de tipo continuo, mediante maquinas especiales.
- **GESTIÓN DE LOS EECC QUEMADOS:** una vez irradiados (proceso denominado *quemado*) los EECC, se llevan a piletas de enfriamiento y luego a un almacenamiento en seco. La gestión de estos EECC quemados corresponde a NA-SA y CNEA.

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

---

<sup>34</sup> Este proceso se describe con más detalle en Zappino (2022a; 2022b).

En la Figura 1 podemos observar las fases del ciclo del combustible nuclear en la Argentina y la ubicación en el mismo de las empresas estudiadas: Dioxitek y CONUAR. En este apartado trataremos las dos primeras fases. Las fases tres, cuatro y cinco serán analizadas en la segunda parte del trabajo.

Figura 1. El ciclo del combustible nuclear en la Argentina



Fuente: Dioxitek S.A. (2013-2018)

## 2.1 Fase 1: prospección y extracción

En el capítulo anterior realizamos un recorrido histórico de la minería del uranio, llevada adelante por la CNEA desde los años cuarenta del siglo pasado. El uranio se encuentra diseminado en forma natural principalmente en agua y rocas. A través de técnicas geológicas de cateo se determinan las zonas en donde es posible extraerlo. Para ello, mediante la prospección, se toman muestras del suelo y se evalúa la cantidad de uranio por metro cúbico de roca.

El uranio utilizado en los reactores nucleares puede encontrarse ampliamente distribuido en toda la corteza terrestre, pero solo se obtiene en aquellas zonas donde se halla más concentrado producto de los procesos geológicos.

El procedimiento de extracción se realiza en excavaciones a cielo abierto o en explotaciones en galería de la misma manera que se hace con otros minerales. Una vez extraído, se traslada a las plantas de tratamiento en donde se lo separa de la roca. El concentrado obtenido en este proceso es  $U_3O_8$ <sup>35</sup>.

Al momento de la realización de este trabajo, esta etapa no es realizada en la Argentina y el concentrado de uranio se importa. Así lo explica la Lic. Julieta Sayán, Directora de Dioxitek:

En el contexto de ajuste y privatizaciones de los años noventa, el gobierno resolvió detener la producción nacional por variables económicas. El precio internacional del uranio había descendido y se decidió comenzar a importar.

---

35 El uranio puede tomar muchas formas químicas, pero en la naturaleza se encuentra generalmente como un óxido (en combinación con el oxígeno). El octóxido de triuranio ( $U_3O_8$ ) es la forma más estable de óxido de uranio y es la forma más encontrada en la naturaleza (U308CORP, 2022).

Luego de 30 años de actividad minera, los yacimientos se fueron cerrando a medida que agotaron su capacidad productiva, pero solo quedaba en funcionamiento el Complejo Minero Fabril de San Rafael, Mendoza, que es la única mina que hoy estaría en condiciones de proveer uranio. La reforma constitucional de 1994 generó también un nuevo vínculo con las provincias, ya que se estableció la cesión de los recursos naturales a estas últimas. Desde 1997 a la fecha, en el Complejo Minero Fabril no se realizan actividades de producción. Se realizan actividades de mantenimiento y remediación. La legislación provincial no habilita la actividad de la minería del uranio. Esa actividad está en pausa y desde entonces Argentina importa el concentrado de uranio (U3O8) a través de una licitación internacional (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

La empresa proveedora del concentrado de uranio es NAC Kazatomprom JSC<sup>36</sup>, la mayor productora de uranio en el mundo, ya que participó aproximadamente en el 24 % de la minería de uranio primario global total en 2019. En 2020 la empresa kazaja ganó la licitación abierta de Dioxitek para el suministro de concentrado de uranio natural.

En este aspecto surge una pregunta: ¿importar el concentrado de uranio no es prácticamente lo mismo que importar el combustible completo? A este interrogante responde Sayán:

Hay que comprender que no es solo una cuestión de dinero. La especificidad técnica de las centrales nucleares argentinas hace que sean únicas en el mundo. De esta manera, nuestro proceso de producción del polvo de dióxido de uranio también es único. Argentina no puede ir a otro país que cuente con una fábrica similar y obtener el mismo producto. Comprar en

---

36 Para más información, ingresar a <https://www.kazatomprom.kz/en>

otros países traería aparejados problemas con la especificación técnica, con riesgos concretos y sin lograr el mismo nivel y la misma calidad de nuestro producto. Y eso puede generar fallas tanto en el EC que ensambla CONUAR como en el proceso de quemado del combustible dentro de la central. Es decir, la importación no solo es una ecuación económica, sino de tecnología. El aporte tecnológico de Dioxitek es producir el combustible exacto que necesitan las centrales argentinas (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

## **2.2 Fase 2: conversión**

La transformación del concentrado de uranio a dióxido de uranio ( $UO_2$ ) es un proceso químico que consta de varias etapas. En la Argentina, las dos primeras fases (en el caso de la primera fase solamente la importación) son llevadas a cabo por la empresa Dioxitek. El análisis más detallado de los procesos se realizará en el siguiente capítulo.



## Características, historia y desarrollo de Dioxitek S.A.

### 3.1 Caracterización de la empresa

La CNEA tuvo a su cargo la producción del polvo de dióxido de uranio desde 1982. Pero en 1996, el Poder Ejecutivo Nacional (PEN)<sup>37</sup> creó —a partir de los laboratorios de CNEA en la ciudad de Córdoba— la empresa Dioxitek, que comenzó a funcionar al año siguiente con el objetivo de garantizar el suministro de dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los EECC para las centrales nucleares de Atucha I, Atucha II y Embalse.

El complejo es el producto de la creación, en 1944, de la Sociedad Mixta para la Industrialización del Cromo y sus Derivados (SOMICROM)<sup>38</sup>, similar a su hermana más conocida, la Sociedad Mixta Siderúrgica Argentina (SOMISA)<sup>39</sup>, pero que debido a su mal desempeño fue cerrada luego de apenas cinco años. En 1952 la Dirección General de Fabricaciones Militares

---

37 Mediante el Decreto 1286/1996, aprobado el 12 de noviembre de 1996.

38 SOMICROM se fundó el 19 de junio de 1944 mediante la asociación entre la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) y la empresa Minera del Norte S.R.L. Su objetivo era la extracción del mineral y su industrialización. La planta se construyó en Córdoba ya que allí se encontraban los yacimientos de cromo (Belini y Rougier, 2008). Su impulsor fue el general Manuel Savio.

39 SOMISA fue una empresa siderúrgica estatal argentina creada en 1947 tras la aprobación del Plan Siderúrgico Nacional, impulsado por el general de división Manuel Savio. La planta se inauguró en 1960 durante el gobierno de Arturo Frondizi. En 1991 fue privatizada y pasó a formar parte del grupo Techint.

le entregó a la CNEA la posesión del terreno y las instalaciones para realizar investigaciones sobre métodos de procesamiento de mineral de uranio. A partir de ahí, se realizaron trabajos de investigación y desarrollo sobre el procesamiento de minerales de prácticamente todas las minas y yacimientos de la Argentina, hasta que se adquirió de Alemania la tecnología para la conversión a  $UO_2$ , actividad a la que se dedicó hasta la actualidad. Este tipo de plantas de conversión a  $UO_2$  no son comunes en el mundo, ya que se utilizan en ciclos de combustible de reactores que funcionan con uranio natural y estos representan el 15 % del total de la flota mundial. Aquellos países que desarrollaron centrales que funcionan con uranio natural, son los que tienen plantas de conversión de  $UO_2$ <sup>40</sup>.

Sobre los motivos del PEN para crear la empresa, la Lic. Julieta Sayán dice:

Dioxitek surge como sociedad anónima estatal en 1996, como desprendimiento de la Comisión Nacional de Energía Atómica, en el contexto de la segunda ola de privatizaciones de todas las actividades productivas del Estado nacional. Debido a la complejidad de sus tareas y su rol estratégico dentro del sector nuclear, se logró mantener el control estatal de la empresa, en donde la CNEA conserva parte del paquete accionario.

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

---

40 Canadá, Reino Unido, India, Corea del Sur y la Argentina (<https://u-238.com.ar/dioxitek-todo-lo-que-hay-que-saber-para-hablar-de-uranio>).

proceso, comprar una planta y comenzar a producir el polvo de uranio necesario para los combustibles de las centrales (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

Las operaciones de Dioxitek son productivas y de servicios. Las productivas son la ya citada transformación del concentrado de uranio en dióxido de uranio (apartado 3.2) y la fabricación de fuentes selladas de cobalto 60 (apartado 3.3). Por su parte, la de servicio es la logística y exportación del radioisótopo molibdeno 99 (apartado 3.3). Además, se efectúa la compra en el exterior del concentrado de uranio. La operatoria productiva se establece a partir de contratos entre Dioxitek, NA-SA y la CNEA.

Por un lado, se realizan contratos entre NA-SA y Dioxitek para la compra en el exterior del concentrado de uranio, su posterior conversión en polvo de dióxido de uranio y la provisión de este a CONUAR para el proceso final de fabricación de los EECC. En cuanto a la segunda línea de negocios, que consiste en la producción y comercialización de fuentes selladas de cobalto 60, también se realizan contratos entre Dioxitek y la CNEA, que se van renovando por períodos iguales. En este caso, también, la empresa detenta la exclusividad para esta línea de negocios. Por último, para la comercialización del isótopo molibdeno 99, la CNEA realizó contratos con la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) de Brasil para la provisión del radioisótopo. Allí se designa a Dioxitek como representante de la CNEA en lo referente a la logística, comercio exterior y entrega de los radioisótopos, así como en la percepción de los pagos a favor de la CNEA. Estos contratos se realizaban en el marco del Mecanismo de Integración y Coordinación Bilateral Brasil-Argentina (MICBA), —impulsado en 2007 por los expresidentes de ambos países, Néstor Kirchner y Luiz Inácio «Lula» da Silva— y, en el plano nuclear, se expresaron en 2008 mediante la constitución de la Comisión Binacional de Energía Nuclear (COBEN) (Sayán, 2021).

Dioxitek es una sociedad anónima de propiedad pública. En lo que respecta al paquete accionario, la Secretaría de Energía detenta la titularidad del 51 % desde 2017<sup>41</sup>, mientras que el 48 % corresponde a la CNEA y el 1 % restante es propiedad de la provincia de Mendoza<sup>42</sup>. Julieta Sayán explica los motivos de la participación provincial:

Al momento de crear la empresa, la CNEA decide hacer participar del paquete accionario a la provincia de Mendoza para poder mantener la actividad minera e involucrar a la provincia no solo de la extracción, sino también de los beneficios del bien final que es el polvo de dióxido de uranio (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

## 3.2 La conversión del concentrado de uranio en polvo de dióxido de uranio

La conversión del concentrado de uranio en polvo de dióxido de uranio representa la línea principal de negocios de la empresa. Como primer paso, Dioxitek efectúa las compras de la materia prima, es decir, el concentrado de uranio, en el mercado internacional. En la Figura 2 puede observarse ese concentrado en la forma en que llega al país. Una vez ingresado, se transporta a la planta en la ciudad de Córdoba donde, mediante un proceso químico, se lo convierte en polvo de dióxido de uranio. Así lo describe Julieta Sayán:

---

41 Mediante el Decreto 882/2017, artículo 7, firmado por Mauricio Macri, Marcos Peña y Juan José Aranguren, se transfirieron las acciones *clase C* de Dioxitek S.A. en poder de la CNEA, al Ministerio de Energía y Minería. A su vez el artículo 8 instruyó a ese Ministerio a impulsar las medidas necesarias para proceder a la venta, cesión u otro mecanismo de transferencia de la titularidad de sus acciones, lo que habilitaba una posible privatización. Este artículo fue derogado mediante el Decreto 389/2021, firmado por la totalidad del Gabinete nacional.

42 Para más información, ingresar a <https://dioxitek.com.ar/nosotros/>

El ciclo del combustible iniciaría, en realidad, con la extracción del uranio de la mina. Durante mucho tiempo, esto se pudo hacer en el país. En todos los sitios en los que hubo actividad minera de la CNEA hoy está en marcha el Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio, a cargo de la CNEA. El sitio de Malargüe fue el primero en culminar ese programa<sup>43</sup>. En este momento, el concentrado de uranio se importa y se traslada a la ciudad de Córdoba, donde se guarda en tambores hasta que comienza el proceso de producción (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

Respecto de las normas que rigen el traslado de material radiactivo, Sayán aclara:

Nuestra actividad está sometida al régimen regulatorio de la ARN<sup>44</sup>, que tiene normativas muy estrictas de índole nacional y refrendadas por la OIEA<sup>45</sup> y por la ABACC<sup>46</sup>, de los cuales se reciben permanentemente inspecciones y controles. Y en todas las etapas, tanto en las de transformación y producción como en las de transporte, hay que cumplir con esas regulaciones. Para el caso del uranio y de todos los materiales radiactivos, se tiene que diseñar un determinado bulto para el transporte. Ese bulto lo aprueba la ARN y viaja en camiones, que también deben estar al día con los requisitos específicos de la

---

43 La primera obra de remediación ambiental de la minería del uranio en la Argentina y en Latinoamérica se realizó en Malargüe, Mendoza, mediante el proceso de ingeniería denominado *encapsulado*; y se integró a la ciudad con la construcción del parque El Mirador, un espacio de esparcimiento para toda la comunidad local (<https://www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/remediacion-ambiental/sitio-malargue>).

44 Autoridad Regulatoria Nuclear (<https://www.argentina.gob.ar/arn>).

45 Organismo Internacional de Energía Atómica (<https://www.iaea.org/es>).

46 La Agencia Brasileño-Argentina para la Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC; en portugués: Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares) es una organización binacional de control de materiales nucleares, la cual desempeña un papel activo en la verificación del uso pacífico de este tipo de materiales que puedan ser utilizados directa o indirectamente para la fabricación de armas de destrucción masiva. La cooperación nuclear entre la Argentina y Brasil se remonta a 1986, con la firma de un protocolo sobre el intercambio inmediato de información y la asistencia mutua en caso de accidentes nucleares y emergencias radiológicas. Fue creada el 18 de julio de 1991 y es la única organización binacional de salvaguardias existente en el mundo, y la primera organización binacional creada por estos dos países.

actividad. Los requisitos varían en base a la cantidad y tipo de radiactividad que tiene el producto. No es lo mismo la radiactividad del uranio natural que sale de la tierra, que la que tiene el polvo de dióxido de uranio. Argentina fue acumulando conocimiento, tanto en la producción como en el cuidado de las personas y del ambiente. La actividad productiva y la cultura de la seguridad fueron siempre de la mano (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

El polvo de dióxido de uranio producido es utilizado por CONUAR S.A. para la continuación del ciclo de fabricación del combustible nuclear, el cual finalmente es vendido a NA-SA para que los utilice en las tres centrales nucleares.

A finales de la década de 1990, la CNEA y NA-SA decidieron aumentar el enriquecimiento de los combustibles de la CNA I de uranio natural a uranio levemente enriquecido (ULE), y solicitaron a DIOXITEK el desarrollo del polvo que tuviera esas condiciones y cumpliera con los requisitos para la fabricación de los EECC de la central.

El departamento de Ingeniería de Planta Córdoba de DIOXITEK se abocó a la tarea y, luego de dos años de investigación, consiguió producir un polvo de dióxido de uranio que cumplió con los requisitos encomendados, y que fue utilizado en la CNA I durante algunos años.

**Figura 2. Concentrado de uranio importado**



Fuente: Kazatomprom (<https://www.flickr.com/photos/138056811@N05>)

### 3.2.1 La planta de la ciudad de Córdoba

Como se desarrolló en el apartado 3.1, la planta de producción de polvo de dióxido de uranio nació en 1982 cuando la CNEA decidió adquirir de la firma alemana RBU una planta «llave en mano» con una capacidad de producción de 150 toneladas para abastecer a las centrales nucleares<sup>47</sup>. Esta acción permitió al país completar el ciclo del combustible y lograr la autosuficiencia en la fabricación de los EECC. La planta fue operada por la CNEA hasta la creación de Dioxitek en 1996, empresa que se hizo cargo de las instalaciones y del proceso productivo.

---

47 A fines de la década de 1960, técnicos y profesionales de la CNEA fueron enviados a Francia para interiorizarse sobre el proceso de purificación y conversión del uranio a dióxido de uranio grado cerámico. Esto dio inicio a un proyecto de investigación y desarrollo llamado «TECNOLOGÍA NACIONAL» y al desarrollo de una planta denominada «LÍNEA NACIONAL» (para diferenciarse de «LÍNEA ALEMANA» adquirida a RBU). Si bien la «LÍNEA NACIONAL» consiguió la «pureza nuclear» requerida, no se logró cumplir con los estándares de calidad requeridos para la fabricación de los EECC de las centrales nucleares.

La ubicación de la planta en una zona de la ciudad de Córdoba que se fue tornando residencial, produjo diversos conflictos con la Municipalidad que recrudecieron entre 2012 y 2017. En efecto, en noviembre de 2014 la Municipalidad de Córdoba procedió a la clausura preventiva de la planta, pero permitió el ingreso y egreso del personal a fin de salvaguardar la seguridad y el mantenimiento del establecimiento. Dos años después, Dioxitek logró el levantamiento de la clausura por parte de la Justicia Federal de la provincia, lo cual le permitió a la empresa volver a producir normalmente. Paralelamente, se acordó prorrogar el Convenio Conciliatorio hasta 2024<sup>48</sup>. Cabe aclarar que mientras la planta estuvo clausurada nunca se interrumpió el abastecimiento de polvo de dióxido de uranio a la empresa CONUAR para la fabricación de los EECC, el cual se realizó utilizando el *stock* acumulado.

### 3.2.2 El proceso de conversión del concentrado de uranio en polvo de dióxido de uranio

Como aclaramos en el capítulo 2, el proceso de conversión del concentrado de uranio a polvo de dióxido de uranio se realiza mediante un proceso químico de varias etapas, que pueden apreciarse en la Figura 3.

Una vez recibido en la planta de producción de Córdoba, el concentrado de uranio importado es sometido a controles de calidad. Cabe aclarar que el concentrado de uranio que se importa no es exactamente el conocido como *yellow cake*<sup>49</sup>, que es un poco más purificado, sino un intermedio de producción. El concentrado de uranio ya viene bastante purificado. Los

---

48 Para más información, ingresar a <https://www.cnea.gov.ar/risen/uploads/2022/04/La-Voz-del-Interior-DIOXITEK-La-planta-de-Alta-C%C3%B3rdoba-seguir%C3%A1-activa-hasta-2024.jpg>

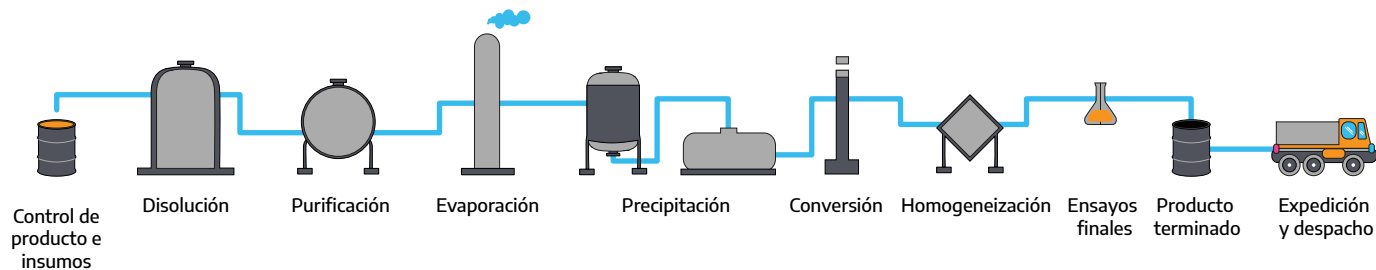
49 Concentrado de mineral de uranio («torta amarilla»); producto sólido del proceso de tratamiento del mineral de uranio, con un contenido de uranio superior al 75 % en forma de óxido de uranio (U3O8) (<https://www.foronuclear.org/wp-content/uploads/2020/05/diccionario-tecnologia-nuclear-2a-edicion.pdf>).



últimos embarques recibidos por la Argentina tenían un 95 % de pureza, y Dioxitek lo lleva al 99,88 %.

La primera etapa es la disolución, donde el concentrado se disuelve en ácido nítrico. Luego, pasa a la etapa de purificación, que consiste en una extracción de líquido a líquido (en esta etapa hay una fase orgánica y una fase acuosa). A determinada temperatura, el uranio tiende a pasar a la fase orgánica. Después se invierte la temperatura y vuelve a la fase líquida en celdas de extracción. El estado final ya es uranio purificado. Posteriormente, sigue la etapa del concentrado para después precipitarlo. En ese momento, el uranio llega medio ácido y se lo precipita con amoníaco. De esta manera, se llega a un polvo amarillo que es muy parecido al *yellow cake*. El precipitado se realiza sobre un filtro rotativo (como una torta), se filtra y luego se lava con metanol para que seque más rápido. Una vez secado, pasa a un horno de conversión, donde se realiza una oxidación controlada que lo convierte en polvo de dióxido de uranio. De allí pasa a la fase de expedición y despacho. El polvo de dióxido de uranio producido tiene como destino final la planta de CONUAR S.A. en Ezeiza para la elaboración de las pastillas de uranio que se colocarán dentro de las vainas de los EECC. En la Figura 4 se puede apreciar el polvo de dióxido de uranio.

Figura 3. Proceso de conversión de concentrado de uranio en polvo de dióxido de uranio



Fuente: Dioxitek S.A. (2013-2018)

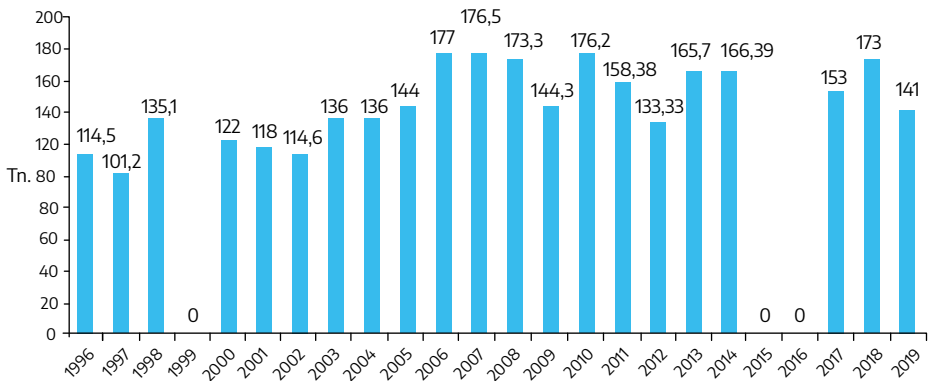
Figura 4. Polvo de dióxido de uranio



Fuente: Dioxitek S.A. (<https://dioxitek.com.ar/actividades/proceso-uo2>)

Por último, el Gráfico 1 muestra la producción de polvo de dióxido de uranio desde el inicio de la operatoria de Dioxitek.

Gráfico 1. Dioxitek. Producción de polvo de dióxido de uranio (1996-2019) en toneladas



Fuente: CNEA (1996-2019)

Cabe aclarar que la producción estuvo suspendida en los años 2015 y 2016 debido a la clausura de la planta de producción de Córdoba (apartado 3.2.1).

### 3.3 Otras unidades de negocios de Dioxitek

Entre las operaciones productivas de la empresa, además de la fabricación del polvo de dióxido de uranio, se encuentra la producción de fuentes selladas de cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ )<sup>50</sup>. Por otro lado, entre las operaciones de servicios, la empresa tiene a su cargo la logística y la exportación del radioisótopo molibdeno 99 ( $^{99}\text{Mo}$ ). En este apartado, analizaremos brevemente cada una de estas unidades de negocios.

Por sus características, el radioisótopo  $^{60}\text{Co}$  es altamente demandado en el ámbito de las aplicaciones nucleares, tanto para el sector médico como para el sector industrial. Se utiliza como fuente de radiación para radioterapia médica, radiografía industrial e irradiación de alimentos, así como también para la esterilización de equipos médicos, para el tratamiento de residuos hospitalarios patogénicos y para el tratamiento de enfermedades tumorales.

A partir de la producción y exportación de las fuentes selladas y de la comercialización del  $^{99}\text{Mo}$ , Dioxitek posicionó a la Argentina como el principal proveedor de radioisótopos a nivel regional y como tercer proveedor de fuentes de  $^{60}\text{Co}$  en el nivel mundial (10 % de la producción mundial)<sup>51</sup>.

---

50 El cobalto tiene varios isótopos radiactivos artificiales, entre los cuales el más importante es el cobalto 60. Este emite radiaciones beta y gama, y se usa en terapia por radiación, indicadores de nivel e investigaciones.

51 Para más información, ingresar a <https://www.dioxitek.com.ar>.

### 3.3.1 Producción de fuentes selladas de cobalto 60

A partir de 2002, la CNEA cede a Dioxitek el área productiva de fuentes selladas de  $^{60}\text{Co}$  para uso médico e industrial. Para esto, la empresa NA-SA irradia barras ajustadoras que contienen el cobalto 59 (inactivo) en la CNEA<sup>52</sup>; una vez irradiado, la CNEA vende el  $^{60}\text{Co}$  a Dioxitek, quien luego fabrica las fuentes selladas. A continuación, desarrollaremos el proceso de producción.

La planta de producción se encuentra en el predio perteneciente a la empresa dentro del Centro Atómico Ezeiza. Allí se fabrican dos tipos de fuentes selladas:

- INDUSTRIALES: son utilizadas para la conservación de alimentos, esterilización de productos industriales, etc.
- MÉDICAS: para su utilización en el tratamiento de tumores cancerígenos.

La planta es relativamente pequeña. Tiene una planta de veintidós personas de alta calificación (técnicos, administrativos, ingenieros de distintas áreas, oficiales de radioprotección, etc.) (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021). Además, está certificada con la norma ISO 9001 para «Diseño, producción y comercialización de fuentes selladas de  $^{60}\text{Co}$ » bajo autorización operacional de la ARN. En 2009, el IRAM<sup>53</sup> y el ente de certificación Internacional IQNet<sup>54</sup>, otorgaron a

52 En 2016 la planta nuclear de Embalse comenzó los trabajos que le permitieron extender por treinta años adicionales su ciclo de vida. En febrero de 2019 sincronizó nuevamente a la red exitosamente. Recién en 2021 se pudo cosechar nuevamente cobalto irradiado para continuar con la producción. Para los detalles del proyecto de extensión de vida de Embalse véase Zappino (2022a).

53 Instituto Argentino de Normalización y Certificación (<https://iram.org.ar/institucional/quienes-somos>).

54 IQNet es una red internacional de certificación fundada en 1990 que une a más de 40 entidades de certificación de diferentes ámbitos. Se encarga de corroborar la calidad; el respeto por el medio ambiente; la seguridad y salud laboral; la seguridad alimentaria; la responsabilidad social; y la tecnología de la información

Dioxitek el certificado de implementación y mantenimiento ISO 9001:2008 de Gestión para el Diseño, Producción y Comercialización de Fuentes selladas de  $^{60}\text{Co}$ . Durante 2011 el mismo ente de certificación amplió el alcance del certificado que incluye la comercialización de radioisótopos para uso medicinal bajo autorización operacional de la ARN (Dioxitek, 2013-2018). En la Figura 5 puede apreciarse el proceso completo de fabricación de fuentes selladas de  $^{60}\text{Co}$ .

La primera etapa del proceso es la importación del polvo de cobalto 59 ( $^{59}\text{Co}$ ). Al respecto, Sayán aclara:

El cobalto es un mineral que provee la naturaleza. La CNEA cuenta con 50 años de experiencia en los usos del cobalto, principalmente para prácticas médicas, industriales, técnicas de esterilización, etc. (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

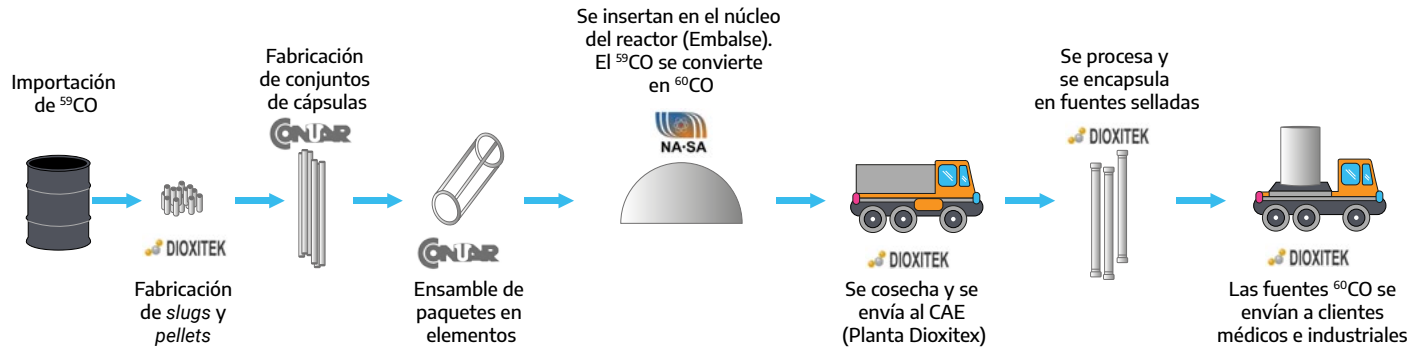
Como ejemplo del rendimiento del polvo importado, el ingeniero Germán Arambarri, Gerente de Tecnología Gamma de Dioxitek, explica que

Por cada 100 kg de polvo de  $^{59}\text{Co}$  se fabrican dos juegos de barras completas. Y cada juego de barras se cambia cada 18 meses. De esta manera, esos 100 kg rinden tres años (G. Arambarri, comunicación personal, 24 de noviembre de 2021).

---

en las empresas de distintos países. Cuenta con más de 200 sucursales en todo el mundo (<https://www.gilabertmiro.com/blog-cast/que-es-la-certificacion-ignet>).

Figura 5. Proceso de producción de fuentes selladas de cobalto 60



Fuente: Dioxitek S.A. (2013-2018)

Luego, comienza el proceso de fabricación de las fuentes selladas. La primera etapa es un prensado. De allí pasa a un horno de sinterizado que le produce una pequeña «cinturita», porque cuando se hace el prensado se aplica más fuerza en las puntas que en el centro. Es decir, el producto no es cilíndricamente perfecto. Para corregir ese defecto, se le realiza un rectificando a dimensión perfecta, que es la tercera etapa. Luego, pasa a una capa de niquelado para evitar la contaminación<sup>55</sup>.

Los productos finales son dos: el *slug* (C345) y los *pellets* (C345P). Varios *slug* o varios *pellets*, denominados «lápices» forman «manojos», y varios «manojos» forman las barras de regulación de flujo neutrónico. Si esas barras no se colocaran en el reactor, al contar el núcleo del reactor con más EECC en el centro, se produciría un pico de neutrones. Por eso, las barras se utilizan para absorber más neutrones en el centro y menos en la periferia, de manera que logran homogeneizar el flujo neutrónico.

Una vez fabricados los *slug* y los *pellets*, se forman veintiún juegos de barras, de los cuales seis son de *pellets* y dieciocho de *slug*. Luego, se colocan en el reactor de la CNE para ser irradiados<sup>56</sup>. Por el propio proceso de fisión, el <sup>59</sup>Co se transforma en <sup>60</sup>Co y se convierte en un emisor de rayos gamma altísimamente radiactivo. Las barras de *pellets* se irradian durante tres años, es decir, se cambian cada dos ciclos. Las de *slug* se cambian cada dieciocho meses. Las barras que ingresan al reactor están fabricadas con una aleación de zircaloy. Cada «cosecha»<sup>57</sup> es de unos tres millones de curies<sup>58</sup>

---

55 A partir de 2023, las etapas de prensado, sinterizado, rectificando y niquelado serán realizadas por la empresa Nuclearis S.A., la cual será estudiada en un trabajo posterior.

56 Los *pellets* son pequeños *slugs*, cilindros de 1 mm de diámetro y 1 mm de altura. Los *slugs* tienen aproximadamente 6,3 mm de diámetro y 12,6 mm de altura.

57 Así se llama, en la jerga del sector, al retiro de las barras una vez irradiadas.

58 El curie (Ci) es una unidad de actividad radiactiva, nombrada así en homenaje a la físico-química Marie Skłodowska Curie y al físico-químico Pierre Curie.



y el 90 % de esa producción se destina a la exportación. Es decir, con 500.000 curies se cubre la totalidad de la demanda interna y los restantes se ofrecen a distintos clientes del exterior que firman contratos diferentes por cantidades de curies, según sus necesidades (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

Una vez irradiadas las barras, los manojos se rompen dentro de la pileta de la CNE para retirar los «lápices», los cuales viajan en contenedores a la planta de Ezeiza. Arambarri explica cómo continúa el proceso:

En la celda de fabricación, y dependiendo de cuán activo venga el «lápiz» y de la intensidad de radiación que necesita el cliente, se corta, se sacan *slugs* por *slugs* y se arma una fuente sellada C6003. En dicha fuente se van diluyendo, es decir, se colocan un activo y un inactivo, o dos activos y uno inactivo, etc., para poder llegar a la cantidad de curies que requiere el cliente. Y esta fuente luego se coloca dentro de otra denominada FIS6003<sup>59</sup>, que es una fuente industrial. Se trata, entonces, de un doble encapsulado, y se pueden combinar la cantidad necesaria de C6003 para llegar al requerimiento de curies del cliente. El armado finaliza con una soldadura y es casi artesanal, ya que se fabrican una a una. Una vez irradiadas, todo se trabaja en acero inoxidable (G. Arambarri, comunicación personal, 24 de noviembre de 2021).

Y sobre el mismo tema, Sayán agrega:

Todo se opera en una celda especial, con telemanipuladores. La celda tiene una dimensión de 4 x 4 m, las paredes de hormigón tienen un espesor de 1,5 m, y el vidrio, un espesor de 1,5 m (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

---

<sup>59</sup> La fuente sellada FIS6003 es el principal producto de la empresa.

A continuación, en la Figura 6, puede observarse cómo son la celda de trabajo y los telemanipuladores.

Figura 6. Vista de la celda y los telemanipuladores



Fuente: Dioxitek S.A. (<https://dioxitek.com.ar/nosotros>)

La siguiente etapa es la de controles de soldadura ya que, ante una eventual soldadura defectuosa, las fuentes pueden perder radiación. Se realizan dos controles de estanqueidad: uno no radiactivo, con un espectrómetro de masa por fuga de helio, y uno radiactivo, donde se controla la contaminación superficial por fuga de material activo. Los encapsulados son todos en acero inoxidable 316L.

Estas fuentes producidas tienen una garantía de veinte años. En este punto, es importante aclarar que, por normas internacionales, las fuentes, una

vez «decaídas»<sup>60</sup>, no se pueden dejar diseminadas por el mundo, ya que contienen radiación. Así lo explica Arambarri:

Cada productor, en este caso Dioxitek, debe retomar su fuente usada. Pero no se la puede importar porque se trata de un residuo radiactivo. Entonces, se importan como materia prima y, por controles, tenemos como máximo cinco años para usarlas. Para eso, se junta un volumen razonable de esa «materia prima» y se realiza una campaña de fuentes recicladas. Por ejemplo, la FIS6008 se van con 10.000 curies y vuelven con 1000. Entonces, se la corta, se retiran las capsulas internas y se vuelve a armar una fuente reciclada con 10.000 curies. Entre la fuente original y la reciclada no hay casi diferencia en radiación. En caso de que vuelvan muy decaídas, se las corta, se retiran *slug* por *slug* y se utilizan para diluir activo-inactivo, etc. (G. Arambarri, comunicación personal, 24 de noviembre de 2021).

Las fuentes con mayores ventas son las industriales. Pero, además, se fabrican fuentes médicas para cobaltoterapia, aunque están siendo paulatinamente reemplazadas por aceleradores<sup>61</sup>. Las fuentes médicas se venden a través de INVAP, porque allí se fabrica el equipamiento médico para cobaltoterapia<sup>62</sup>. En la Figura 7 se pueden apreciar los «lápices», los *slugs* y *pellets*, las vainas y la fuente sellada ya terminada (en el centro de la foto). Luego, en la Figura 8, pueden observarse las fuentes selladas sumergidas.

60 El decaimiento radiactivo de un núcleo atómico es un proceso espontáneo de desintegración. Los eventos de este tipo se presentan en núcleos inestables, es decir, donde la proporción entre el número de protones y el de neutrones no es energéticamente óptima ([https://www.ugr.es/~mota/QGI-Tema2\\_Estructura\\_atomica\\_el\\_nucleo.pdf](https://www.ugr.es/~mota/QGI-Tema2_Estructura_atomica_el_nucleo.pdf)).

61 Las ventajas del acelerador es que se apaga el equipo y ya no hay radiación. Además, se puede focalizar la energía más exactamente en el tumor.

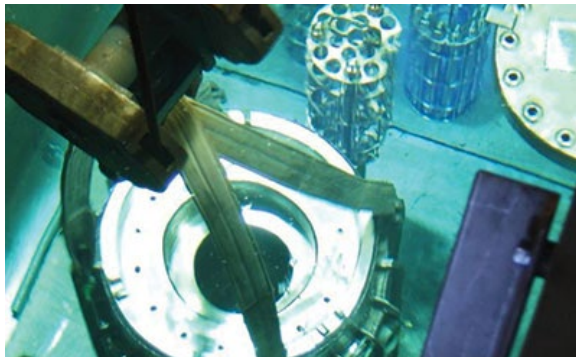
62 Para más información sobre este tema, véase Zappino (2021b; 2021c).

Figura 7. Componentes de las fuentes selladas de cobalto 60



Fuente: Dioxitek S.A. (<https://dioxitek.com.ar/productos>)

Figura 8. Fuentes selladas de cobalto 60 sumergidas



Fuente: Dioxitek S.A. (<https://dioxitek.com.ar/nosotros>)

Un tema importante es el transporte de las barras irradiadas desde la CNE a la planta de Ezeiza. Al tratarse de material altamente radiactivo necesita de bultos especiales para su traslado. Y este tema conforma un negocio en sí mismo. Así lo explica Sayán:

Dioxitek tiene un diseño propio. Los contenedores son de plomo y muy grandes. La empresa lo diseña y lo envía a fabricar a distintos países. Actualmente se encuentra en conversaciones para desarrollarlo en el país. Argentina tiene un gran desarrollo de la metalurgia, pero continúa sufriendo problemas de escala. En algunos casos, los requerimientos técnicos de ese diseño no encuentran una pyme a la que le resulte rentable producir un bulto cada 20 años, o cada 10 años, etc., ya que no se trata de un producto en serie. Además, los contenedores van y vienen. Se envían con la venta de una tanda de fuentes y vuelven en los mismos bultos. Es decir, son reutilizables. Determinadas cantidades de curies requieren determinado tamaño de bulto. A mayor cantidad de curies, más cantidad de plomo y mayor tamaño. A veces, dependiendo del lugar donde viaje y la cantidad, el cliente provee sus propios contenedores. Eso puede ocurrir por las especificaciones propias de las autoridades regulatorias de ese país (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

A continuación, en la Figura 9, pueden apreciarse algunos contenedores de plomo para transporte del cobalto 60.

Figura 9. Contenedores para transporte de cobalto 60



Fuente: Dioxitek S.A. (<https://twitter.com/dioxitek/status/1019202591379656704>)

### 3.3.2 Logística y comercialización del radioisótopo molibdeno 99 ( $^{99}\text{Mo}$ )

El  $^{99}\text{Mo}$  es un radioisótopo producto de la fisión del uranio. Durante este proceso, se genera tecnecio-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), que es el radionucleido más usado en medicina nuclear, concretamente, en la realización de diagnósticos por imágenes, ya que permite la visión de estructuras anatómicas y brinda información sobre procesos metabólicos.

El  $^{99}\text{Mo}$  se produce en el reactor RA-3, propiedad de CNEA, en el Centro Atómico Ezeiza. Con esta producción se abastece totalmente al mercado interno y, debido a la complejidad que poseen los organismos públicos para exportar, la empresa Dioxitek, en alianza con CNEA, brinda el servicio de logística para su comercialización al exterior, principalmente a Brasil. Esta línea de negocios fue iniciada por la empresa en 2010. Un año antes, se

había celebrado un contrato entre el Gobierno de Brasil y el Gobierno de la Argentina, por el cual la CNEA se comprometía al suministro semanal de una cantidad establecida de este radioisótopo.

A partir de 2018, las entregas se vieron afectadas por una decisión del país vecino de modificar las fechas de las entregas y, desde entonces, están suspendidas. Al momento de la preparación de este trabajo, la CNEA y Dioxitek continúan buscando alternativas para sustituir el contrato brasileño (Dioxitek, 2010-2018).

### **3.4 Nueva planta de producción en Formosa: NPU**

En 2006 el entonces presidente Néstor Kirchner relanzó el Plan Nuclear Argentino, en donde se establecían diversas metas cuyo cumplimiento implicaba cambios en la escala de producción de Dioxitek. Se buscaba reactivar el desarrollo de la energía nuclear y sus principales objetivos eran finalizar Atucha II; la construcción de la cuarta y quinta central nuclear; la extensión de la vida útil de Atucha I y Embalse; construir un prototipo de reactor CAREM; poner en marcha la planta de producción de agua pesada de Arroyito; y reanudar el proyecto de enriquecimiento de uranio.

Estos proyectos —especialmente la finalización de Atucha II y la intención de construir dos nuevas centrales— llevaron a Dioxitek a la necesidad de la construcción de una nueva planta de producción de polvo de dióxido de uranio que permitiera satisfacer los futuros requerimientos. Sobre estas necesidades, Sayán afirma:

La planta de Córdoba funciona desde los años ochenta y tiene una capacidad de producción de alrededor de 150 toneladas por año. Con el impulso del

Plan Nuclear de 2006, el requerimiento de combustible nuclear aumentó. Para abastecer a 5 centrales, tenemos que ampliar la capacidad productiva. Para eso, el expresidente Néstor Kirchner, en alianza con el Gobierno de la provincia de Formosa, decidió invertir en una nueva planta de fabricación de polvo de uranio en esa provincia. Y esa planta se está construyendo en la actualidad, dentro del Polo Científico-Tecnológico, con mayor capacidad de producción que la de Córdoba y con un equipamiento totalmente nuevo, adaptado al desarrollo tecnológico actual. Hubo un «parate» muy fuerte con el gobierno de Mauricio Macri, cuando se disminuyó drásticamente el presupuesto destinado a la obra. Finalmente, en 2019 la construcción de la planta se paralizó, lo que implicó deterioro y roturas. En 2021 se logró reactivar el proyecto, con un compromiso muy fuerte de la provincia de Formosa, el acompañamiento de la Secretaría de Energía y una inversión pública robusta. De ninguna manera, el mercado privado podría asegurar el abastecimiento de nuevas centrales. Y tampoco Dioxitek, como empresa, podría invertir en un proyecto de semejante envergadura. En este caso, Dioxitek es el tecnólogo del proyecto y la obra tiene financiamiento del Tesoro (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

Los inicios del proyecto datan de 2007, cuando Dioxitek y la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Córdoba suscribieron un convenio por medio del cual se comprometían, a través de un proceso de complementación técnico, económico y administrativo, a llevar adelante un estudio destinado a la selección del lugar de localización de la nueva planta. A partir de este relevamiento, el Complejo Minero de San Rafael resultó ser el lugar seleccionado como el más ventajoso por la proximidad de la materia prima y por su infraestructura.

Sin embargo, las dificultades surgidas en torno a la reapertura de la explotación de la mina y, en consecuencia, en la instalación de la nueva



planta de uranio, tornó imposible la concreción de la iniciativa. A partir de allí, la empresa comenzó a buscar nuevos lugares posibles de asentamiento.

En 2013, Dioxitek realizó una visita a la provincia de Formosa en donde su gobernador se mostró interesado en que se instale la nueva planta allí: para esto cedió un predio de 59,5 hectáreas dentro de una parcela de 574 hectáreas a 16 km de la capital provincial, donde funciona el Polo Científico Tecnológico y de Innovación. Al año siguiente, fue entregado un Estudio de impacto ambiental a la Secretaría de Recursos Naturales, Ordenamiento y Calidad Ambiental dependiente del Ministerio de Producción y Ambiente de la provincia<sup>63</sup>. Finalmente, en mayo de 2015, se publicó en el Boletín Oficial la adjudicación de la obra a la empresa Stornini S.A.

El Polo Científico-Tecnológico representará un ámbito en el cual confluirán e interactuarán la producción, la labor calificada de científicos argentinos y la transparencia de conocimiento a la comunidad en una visión de futuro para la provincia de Formosa.

Respecto al impacto ambiental de la planta, tres procesos muestran el camino de Dioxitek en ese sentido:

- LA LÍNEA DE BASE: es la descripción de la situación ambiental al momento de realizar el estudio, de manera tal de tener un punto de partida para comparar controles posteriores.
- EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES: el tratamiento de efluentes, las emisiones y los residuos se garantiza mediante una tecnología

---

<sup>63</sup> A través de la Resolución 1374 de ese Ministerio, fue otorgada la Licencia Ambiental de la Nueva Planta que conlleva el comienzo de la construcción de la obra.

avanzada que se aplica con el soporte de la gestión y el objetivo de minimización del riesgo ambiental<sup>64</sup>.

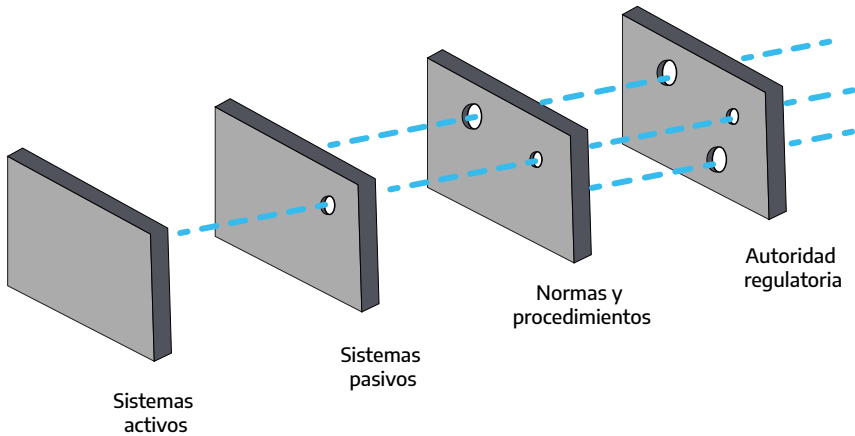
- LA DEFENSA EN PROFUNDIDAD: garantiza que ninguna falla técnica, humana o de organización pueda por sí misma provocar efectos perjudiciales. El tipo de defensa que la nueva planta utilizará será una combinación de niveles de protección consecutivos e independientes. Este sistema crea una serie de barreras que permiten contener cualquier falla que pueda surgir. Si el problema supera una de las barreras, habrá otras a las que tendrá que enfrentarse, de manera que se garantiza un profundo control durante todo el proceso<sup>65</sup>. A continuación, en la Figura 10 puede verse un esquema de lo descrito en este ítem.

---

64 Como resultado del proceso productivo, se generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos luego de las etapas operativas que van transformando la materia prima y los insumos en el producto final (JO.). El diseño de la planta da respuesta al tratamiento de todas estas corrientes. La tecnología de última generación implementada para el tratamiento de efluentes líquidos asegura el *vertido líquido cero*, por lo que no se registrarán descargas líquidas al sistema ambiental. Los gases son capturados en cada área de proceso mediante sistemas de filtrado de alta tecnología, se tratan en tanques de lavado y se liberan a la atmósfera como aire limpio. Por último, se generan los siguientes tipos de desechos: *desechos sólidos urbanos*, para lo cual se realizará una segregación en origen para el reciclado de papel, vidrio, plástico y metales, que representan un total de seis camiones por año; y *desechos sólidos con uranio*, los cuales serán identificados, compactados, almacenados en tambores y transportados por la CNEA fuera de Formosa. El total de este tipo de residuos no supera un camión anual (<https://dioxitek.com.ar/npu/gestion-ambiental>).

65 Para más información, ingresar a <https://dioxitek.com.ar/npu/seguridad>

Figura 10. Defensa en profundidad



Fuente: Dioxitek S.A. (2013-2018)

Con respecto al tiempo que transcurriría hasta el momento de la puesta en marcha de la nueva planta, Sayán explica:

Primero hay que finalizar la reparación de todo lo que se deterioró durante la paralización de la obra. Luego hay que licitar la tercera parte de la obra civil, continuar con el montaje del instrumental y realizar las pruebas de puesta en marcha. Luego se necesita un tiempo de aprendizaje del nuevo grupo de trabajo para que el producto final cumpla con los mismos requerimientos de calidad, de seguridad, de especificación técnica de lo que hoy produce la planta de Córdoba. Cuando esté operativa, ambas plantas tendrán que estar comunicadas permanentemente para enseñar y transferir ese conocimiento (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

# 4

## Tecnología y desarrollo en Dioxitek

Las funciones principales de Dioxitek, a partir de su creación en 1996, son la producción del polvo de dióxido de uranio, insumo que luego es utilizado por la empresa CONUAR S.A. para la finalización del proceso de fabricación de los EECC; y, desde 2002, la fabricación de las fuentes selladas de cobalto 60 en conjunto con NA-SA, ya que esta última brinda el servicio de irradiación del cobalto 59 que, finalmente, se convertirá en cobalto 60 en el reactor de la Central Nuclear de Embalse. Esta última actividad es una contribución importante tanto a la tecnología como a la sociedad, ya que todo lo producido es utilizado en las plantas de irradiación y en los centros de medicina nuclear con los que cuenta el país.

El desarrollo tecnológico de la empresa representa una herencia de los más de 70 años de investigación y desarrollo llevado a cabo por la CNEA, y por la decisión del país de ingresar a la generación de nucleoelectricidad. Producto de esta última es la necesidad de la fabricación de los EECC para las centrales. Asimismo, las fuentes de cobalto pueden considerarse un subproducto de la actividad.

Este proceso de desarrollo productivo es descripto por Sayán de la siguiente manera:

Principalmente, Dioxitek provee empleo de calidad en el sector de la metalurgia y la industria química en la ciudad de Córdoba, en el Partido de Ezeiza y, próximamente, en la provincia de Formosa. Esto significó que la empresa se insertara en el tendido industrial del país surgido en los años cincuenta y se consolidara con la actividad de CNEA. También se trata de una parte fundamental de la decisión argentina de ir hacia un desarrollo nuclear con soberanía energética y autonomía tecnológica. La empresa tiene conocimiento argentino, mano de obra argentina y en un área que no existe en todos los países del mundo. Y esto refuerza la presencia que tiene el país en el mundo, en un asiento que ocupa como uno de los principales actores a nivel mundial en la actividad nuclear y en los usos pacíficos de la misma. Resumiendo, tenemos: colaboración con el tendido industrial del país, mano de obra calificada, innovación y producción nacional, que a la vez irradia en soberanía y en autonomía tecnológica del país. Es decir, un doble rol local e internacional (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

Y respecto a las ventajas competitivas que brindan al país la actividad nuclear en general y la de Dioxitek en particular, Sayán explica:

La ventaja fundamental reside en que la empresa es un factor importante en el desarrollo del país. Cuando se piensa un proyecto de país inclusivo y federal, tenemos que el sector nuclear y las empresas del sector generan empleo de calidad, generan proveedores locales, potencian economías locales y aumentan las capacidades de gestión, coordinación y sustitución de importaciones. Si todo esto se reemplazara por una compra en el exterior, nos transformaríamos en una economía de servicios. Y nosotros apostamos a una economía de la producción y de desarrollo federal. Si no existiera la decisión de la producción local, de invertir en empresas como la nuestra, en formar recursos humanos para cumplir los roles necesarios para la fabricación de polvo de uranio, estaríamos excluyendo a la población de este conocimiento,

de esta práctica, de este avance de innovar en los procesos; simplemente seríamos una oficina de servicios que trae de afuera todo ese saber y no se involucra en el mismo, no lo aumenta, no lo transforma (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

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

Con relación al conocimiento adquirido y la resignificación de tecnologías, finaliza Sayán:

Todo el conocimiento en procesos químicos, físicos, el desarrollo de la metalurgia, la generación de energía eléctrica a través de las centrales y la fabricación de los EECC, se aprovechó para el proceso de pasar del combustible nuclear a las otras líneas ( $^{60}\text{Co}$  y  $^{99}\text{Mo}$ ). El reactor CANDU, que genera energía nucleoelectrónica, también se usa para generar las fuentes de  $^{60}\text{Co}$ . Hay una sinergia permanente entre los distintos actores del sector nuclear y fundamentalmente con la CNEA. Una de las instalaciones de irradiación es de la CNEA, en Ezeiza (J. Sayán, comunicación personal, 15 de septiembre de 2021).

## A modo de conclusión

Cuando se profundiza el estudio de la segunda mitad del siglo XX en la Argentina, se encuentran varias experiencias de desarrollos e innovaciones producto de inversiones en tecnologías intensivas en conocimiento. Los ejemplos pueden verse en aeronáutica, energía nuclear, biotecnología, siderurgia y, en los últimos años, en desarrollos aeroespaciales. El estudio de la experiencia de Dioxitek permite corroborar que resulta posible producir esas tecnologías intensivas en conocimiento en el país y en contextos no siempre favorables. Y, más importante aún, que esas capacidades locales fueron adquiridas y desarrolladas por organismos y empresas del sector público.

El derrotero de Dioxitek permite identificar la forma en que se hicieron realidad aquellos paradigmas y factores que permitieron que se crearan y desarrollaran empresas públicas y mixtas en la Argentina, poniendo el énfasis en la inversión pública en desarrollo y conocimiento, y en los instrumentos que posee el Estado para el cumplimiento de esos objetivos, entre ellos, el poder de compra utilizado para incentivar la producción de tecnología.

Y resulta necesario, desde el punto de vista de esos paradigmas, vincular temas como las relaciones entre el Estado, la estructura productiva y el conocimiento científico-tecnológico. En este sentido, tanto la teoría de la triple hélice de Etzkowitz & Leydesdorff (2000) como el triángulo descrito en el trabajo de Sábato y Botana (1968) enmarcan el proceso dentro del cual se insertan empresas como Dioxitek. En efecto, en este caso de estudio, son muy claras las relaciones entre el mundo académico, la industria y el Estado. La imagen de la triple hélice o del triángulo surge del mismo desarrollo histórico del proceso productivo en cuestión, primero con

el Estado invirtiendo en tecnología e investigación a partir de lo actuado por la CNEA en los últimos setenta años; luego, en la vinculación de esos desarrollos con el mundo industrial; y, en este caso, resulta fundamental todo el andamiaje que posibilitaron esos logros a partir del desarrollo de la metalurgia en el ámbito del organismo estatal y el SATI como vinculación productiva.

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

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



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

## Referencias bibliográficas

- Barbarán, G. (16 de julio de 2014). Enriquecimiento. Por qué hay que hacerlo. *U238. Tecnología Nuclear para el Desarrollo*. <http://u-238.com.ar/enriquecimiento-por-que-hay-que-hacerlo>
- Belini, C. y Rougier, M. (2008). *El Estado empresario en la industria argentina. Conformación y crisis*. Manantial.
- Carasales J. C. y Ornstein R. (1998). *La Cooperación Internacional de la Argentina en el campo nuclear*. Consejo Argentino para las Relaciones Internacionales. <https://www.cari.org.ar/recursos/libros.html>
- Cirimello, R. (2013). Tecnología de combustibles nucleares en la argentina: Roberto Cirimello, una historia de compromiso profesional. *Ciencia e Investigación Reseñas*, tomo I, (3). <https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/Resenas/R-tomo1-3/4CirimelloceiRes-1-3.pdf>.
- Colombo, S., Guglielminotti, C. y Vera, M. (2017). El desarrollo nuclear de Argentina y el régimen de no proliferación. *Perfiles Latinoamericanos*, 25(49), 1-21. <https://www.proquest.com/docview/1878777694>
- Comisión Nacional de Energía Atómica (1996-2019). Memorias y balances generales al 31 de diciembre de cada año.
- Decreto 1088 de 1986 [Poder Ejecutivo Nacional]. Comisión Nacional de Energía Atómica. Constitución-sociedad anónima. 30 de junio de 1986.
- Decreto 1286 de 1996 [Poder Ejecutivo Nacional]. Dispónese la transformación de los sectores operativos y productivos del Área Ciclo de Combustible del citado organismo [Comisión Nacional de Energía Atómica] en Dioxitek Sociedad Anónima, estableciéndose su constitución. 12 de noviembre de 1996. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/40000-44999/40352/norma.htm>
- Decreto 882 de 2017 [Ministerio de Energía y Minería]. Modificaciones societarias. Transferencias. 31 de octubre de 2017. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/285000-289999/285749/norma.htm>

- Decreto de Necesidad y Urgencia 389 de 2021 [Poder Ejecutivo Nacional]. Sector energético. 16 de junio de 2021. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-389-2021-350986/texto>
- De Dicco, R. (2013). Breve historia de los reactores nucleares de investigación y producción de la CNEA. Documento de trabajo del Departamento de Tecnología Nuclear del Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET), Buenos Aires.
- Dioxitek S.A. (2013-2018). Memorias y balances generales al 31 de diciembre de cada año.
- Etzkowitz, H. & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.
- Gallegos, E. (15 de abril de 2015). Presente y futuro de los recursos de uranio en Argentina. *U238. Tecnología Nuclear para el Desarrollo*. <https://u-238.com.ar/presente-y-futuro-de-los-recursos-de-uranio-en-argentina>
- Galvele, J. (2009). *Jorge A. Sábato, creador de la metalurgia en CNEA. ¿Cómo se hace para crear un laboratorio de excelencia?* Instituto de Tecnología Sábato, CNEA, UNSAM. <https://www.iSabato.edu.ar/wp-content/uploads/2016/09/Sabato-Creador-de-la-Metalurgia-en-CNEA.pdf>
- Hurtado, D. (2014). *El sueño de la Argentina atómica. Política, tecnología y desarrollo nacional (1945-2006)*. Edhasa.
- Instituto de Tecnología Sábato (1998). *Sábato en CNEA*. Comisión Nacional de Energía Atómica-Universidad de San Martín. <https://repositorio.esocite.la/472/1/UNSAM-CNEA1998-SabatoCNEA.pdf>
- Iramain, L. (2021). Aproximación a la historia del Estado empresario y las empresas públicas en la Argentina (1930-1955). *Cuadernos del INAP*, 2(80).

- Mazzucato, M. (2014). El Estado Emprendedor. Mitos del sector público frente al privado. RBA.
- Palamidessi, H. (2006). Uranio en Argentina. *Industrializar Argentina*, año 4, (5). <https://www.indargen.com.ar/pdf/5/uranio%20en%20Argentina.pdf>
- Plaza, H. C. (2003). La industria del uranio en Argentina. *Seguridad Radiológica*, (22), 16-21.
- Prensa Gobierno de Mendoza (2020, 11 de enero). Después de 30 años avanza la remediación ambiental de Sierra Pintada en San Rafael. <https://www.mendoza.gov.ar/prensa/despues-de-30-anos-avanza-la-remediacion-ambiental-de-sierra-pintada-en-san-rafael>
- 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>
- Rivera, M. (2010). Jorge Alberto Sábato. Pensador y activista comprometido con la realidad. [https://pensalatitec.iiec.unam.mx/sites/pensalatitec.iiec.unam.mx/files/2019-10/13%20Mar%C3%ADa%20del%20Carmen%20del%20Valle%20Rivera\\_removed.pdf](https://pensalatitec.iiec.unam.mx/sites/pensalatitec.iiec.unam.mx/files/2019-10/13%20Mar%C3%ADa%20del%20Carmen%20del%20Valle%20Rivera_removed.pdf)
- Rodríguez, M. R. (2021). Los albores del Plan Nuclear Argentino en la «era atómica». Algunos elementos de análisis (1950-1976). En C. Belini y A. Jáuregui (comps.), *Desafíos a la innovación. Intervención del Estado e industrialización en la Argentina (1930-2001)*. Teseo.
- Sábato, J. y Botana, N. (1968). La Ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. [http://docs.politicacsti.net/documents/Teoricos/Sabato\\_Botana.pdf](http://docs.politicacsti.net/documents/Teoricos/Sabato_Botana.pdf)
- Sayán, J. (2012). Pensamiento Latinoamericano en Ciencia y Tecnología Espacial CNEA. *Escenarios para un Nuevo Contrato Social*, año 10, (25), 21-26.

- Sayán, J. (2021). 30° Aniversario de la creación de la ABACC. Hitos, aprendizajes y desafíos en el camino de la integración latinoamericana en tecnología e innovación nuclear. *Observatorio del Sur Global*.
- Scalabrini Ortiz, R. (1957). La evolución del hombre reconoce un pasado gorila y un futuro industrial. *Revista Qué Sucedió en 7 Días*, (133).
- U308CORP (2022). *Qué es el uranio*. <http://www.u3o8corp.com/es/nuestras-materias-primas/uranio/que-es-el-uranio>
- Wortman, O. (1996). Sábado y la industria argentina. En Instituto de Tecnología Sábado, *Sábado en CNEA*. Comisión Nacional de Energía Atómica-Universidad de San Martín.
- Zappino, J. (2021a). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo I. Algunos elementos conceptuales. *Cuadernos del INAP*, 2(75).
- Zappino, J. (2021b). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 1. *Cuadernos del INAP*, 2(78).
- Zappino, J. (2021c). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo II. El caso INVAP S.E. Parte 2. *Cuadernos del INAP*, 2(79).
- Zappino, J. (2022a). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 1. *Cuadernos del INAP*, 3(84).
- Zappino, J. (2022b). Empresas públicas y mixtas, tecnología y desarrollo III. Trabajo, tecnología y ciencia argentinos: el caso Nucleoeléctrica Argentina S.A. Parte 2. *Cuadernos del INAP*, 3(85).

## CUINAP | Argentina, Cuadernos del INAP

Año 3 - N.º 93 - 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

ISSN 2683-9644

### Editor responsable

Mauro E. Solano

### Coordinación editorial

Pablo Nemiña

### Edición y corrección

María 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.

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 los autores 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