

# 26

# SECTOR NUCLEAR ARGENTINO

Análisis de requerimientos de  
inversiones e infraestructura

Ing. Gustavo A. Barbarán

Área de Pensamiento Estratégico



CÁMARA ARGENTINA  
DE LA CONSTRUCCIÓN



# SECTOR NUCLEAR ARGENTINO

## Análisis de requerimientos de inversiones e infraestructura

---

Ing. Gustavo A. Barbarán

Área de pensamiento estratégico  
Agosto 2015



CÁMARA ARGENTINA  
DE LA CONSTRUCCIÓN

**SECTOR NUCLEAR ARGENTINO, Análisis de requerimientos de inversiones e infraestructura**  
CÁMARA ARGENTINA DE LA CONSTRUCCIÓN

**Autores**

Ing. Gustavo A. Barbarán

**Diseño Gráfico y Armado**

Bottino, Pamela

Galilea, Juan Manuel

Barbarán, Gustavo  
Sector nuclear argentino : análisis de requerimientos de  
inversiones e infraestructura / Gustavo Barbarán.  
1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : FODECO, 2016.  
50 p. ; 30 x 22 cm.

ISBN 978-987-1915-75-0

1. Energía Nuclear. I. Título.  
CDD 354.47

Esta edición se terminó de imprimir en Gráfica TCM,  
Murguiondo 2160 – Ciudad de Buenos Aires, Argentina,  
En el mes de Julio de 2016

1era. edición – Julio 2016 / 150 ejemplares

ISBN 978-987-1915-75-0



9 789871 915750

# **SECTOR NUCLEAR ARGENTINO**

Análisis de requerimientos de  
inversiones e infraestructura



# CONTENIDOS

 <p>/pag. <b>07</b></p>	Introducción y Objetivos del Trabajo	 <p>/pag. <b>19</b></p>	1.5 La Inversión Pública Nacional
 <p>/pag. <b>07</b></p>	Planteo del Problema	 <p>/pag. <b>21</b></p>	<b>CAPÍTULO 2</b> DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL 2006-2015 DEL SISTEMA NUCLEAR ARGENTINO (SNA)
 <p>/pag. <b>09</b></p>	<b>CAPÍTULO 1</b> BREVE HISTORIA DEL SISTEMA NUCLEAR ARGENTINO	 <p>/pag. <b>31</b></p>	<b>CAPÍTULO 3</b> PROYECCIÓN 2016-2025
 <p>/pag. <b>10</b></p>	1.1 La evolución reciente de la tasa de inversión argentina	 <p>/pag. <b>32</b></p>	3.1 Continuidad a los proyectos existentes
 <p>/pag. <b>11</b></p>	1.2 La evolución reciente de la tasa de inversión argentina	 <p>/pag. <b>40</b></p>	3.2 Nuevos Proyectos
 <p>/pag. <b>12</b></p>	1.3 La inversión en infraestructura	 <p>/pag. <b>49</b></p>	<b>CAPÍTULO 4</b> INVERSIONES - CONCLUSIÓN
 <p>/pag. <b>18</b></p>	1.4 La inversión en infraestructura		





## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

---

### PLANTEO DEL PROBLEMA

El presente informe se ha elaborado con el objeto de analizar y a partir de esto, proponer escenarios de inversión del sector nuclear argentino (SNA).

El estudio realiza inicialmente una breve descripción del Sistema Nuclear Argentino, destacando las líneas de trabajo, los actores, el marco legal, su interacción y los logros del sector.

Seguidamente se realiza una descripción de los proyectos realizados y en ejecución todavía durante lo que se llamó la reactivación de la actividad nuclear, que comenzó aproximadamente en el año 2006 hasta la fecha. Estas actividades son la base sobre la cual se proyecta la tercera etapa de este trabajo que es la proyección del SNA para el período 2016-2025. Se plantea un escenario optimista para la realización de obras que ya fueron anunciadas y otras complementarias necesarias de acuerdo a la visión que tiene el SNA de las actividades que realiza.

Finalmente se entrega, a modo de conclusión, un resumen de las inversiones para el período de estudio.



## 1

## BREVE HISTORIA DEL SISTEMA NUCLEAR ARGENTINO



El uso y aprovechamiento de la tecnología nuclear para usos pacíficos tiene una historia en Argentina de más de 65 años. La creación formal del sector ocurrió el 31 de mayo de 1950 pero previamente ya se habían realizado investigaciones en el campo nuclear (búsqueda de minerales nucleares y el famoso proyecto de la Isla Huemul). Desde su creación hasta la fecha el desarrollo nuclear argentino transitó varias fases de crecimiento y contracción para volver a retomar el camino del crecimiento a partir del año 2006.

De manera breve podemos mencionar estas etapas como la etapa del nacimiento (1950-1958) que culmina con la construcción del reactor de investigación RA-1. Luego continúa la etapa de la consolidación (1958-1965) donde se destaca la construcción del reactor RA-3 como gran eje, aunque también resalta la participación que tiene CNEA, en colaboración con la Asociación de Industriales Metalúrgicos (actual ADIMRA), que crean el SATI (Servicio de Asistencia Tecnológica a la Industria) proveedora de servicios tecnológicos a la industria metalmeccánica argentina, destacándose éste como uno de los ejes rectores del trabajo de CNEA.

El siguiente (1964-1974) período es el de la entrada en la generación nucleoelectrica. En 1964 se crea una comisión para realizar un estudio de prefactibilidad para la instalación de una central nuclear en la zona de Buenos Aires – Litoral. Dicho estudio fue el germen de la Central Nuclear Atucha I, que entró en operación en el año 1974. Luego de la entrada de Atucha I, sigue el período del dominio del ciclo de combustible nuclear, que se extiende hasta el año 1983, donde a finales del mismo el flamante presidente Raúl Alfonsín anuncia que Argentina logró enriquecer uranio en la planta de Pilcaniyeu.

A partir de ese momento, la coyuntura económica comienza a ajustar el plan nuclear ambicioso de la época, lo que provoca demoras en la construcción de la central nuclear Atucha II, comenzada en el año 1982. En el año 1994 se sanciona el decreto 1.540<sup>1</sup> que reorganiza al SNA, luego reafirmado por la ley 24.804<sup>2</sup> del año 1997. Esta reorganización tiene, entre otros, el objetivo de privatizar<sup>3</sup> la actividad productiva nuclear y separar funcionalmente la regulación. Supone también un freno a todas las actividades que se

desarrollaban en la época, con la paralización definitiva de las obras de la CN Atucha II.

La Ley 24.804 crea la Autoridad Regulatoria Nuclear, la Empresa Nucleoelectrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA) y deja a cargo de CNEA las tareas de investigación y desarrollo. El sector nuclear queda estancado, con las operaciones de las dos centrales nucleares existentes (Atucha I y Embalse) y la tercera paralizada, CNEA con mínimos fondos que aseguraban únicamente salarios y mínimos servicios. Por el año 1997 se frena la producción del Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR) que explota la mina de Sierra Pintada, en la provincia de Mendoza, desde ese año se importa uranio para la fabricación de combustibles.

A partir del año 2004 comienzan las primeras conversaciones entre Nucleoelectrica Argentina, el Gobierno Nacional y el Diseñador Original (KWU-SIEMENS) para encarar los trabajos de finalización de la central. Tarea compleja como pocas porque en ese entonces Siemens se había retirado del sector nuclear, siendo adquirida su parte nuclear por la empresa Francesa Areva. Este hecho, sumado a las negociaciones por contratos caídos y la propiedad intelectual de la planta, retrasa el comienzo de la obra.

En el año 2005, a través del decreto 981/2005, se crea la unidad de gestión Atucha II (UG CNA-II) dentro de la empresa NA-SA y se le encomienda la realización de todas las tareas para la finalización de la central nuclear. La materialización de esta decisión toma forma en el año 2006, cuando se realiza el anuncio formal y al mismo tiempo se relanza el Plan Nuclear Argentino con dos ejes principales:

- 1 - Generación nucleoelectrica
- 2 - Aplicaciones de la tecnología nuclear a la salud

La finalización de la CNA-II queda a cargo de NA-SA, con algunos apoyos específicos por parte de CNEA, mientras que a este último le correspondieron todo el resto de actividades que conforman el ciclo de combustible nuclear, enfocándose en minería, enriquecimiento, desarrollo de los elementos combustibles y el proyecto CAREM.

<sup>1</sup> <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/10000-14999/13030/norma.htm>

<sup>2</sup> <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/40000-44999/42924/norma.htm>

<sup>3</sup> Ley 24.804: CAPITULO V: Privatizaciones. ARTICULO 34.

## 1.1 CONFORMACIÓN. ACTORES. ACTIVIDADES

Desde la sanción de la Ley 24.804, el sector nuclear se compone de tres grandes organizaciones; la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), la Autoridad Reguladora Nuclear (ARN) y Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA). Las funciones de cada organismo están establecidas en dicha ley y decretos reglamentarios y su dependencia funcional se muestra en la *Figura 1*.



Figura 1: Organización del SNA.

Estas tres instituciones son las más representativas del SNA, pero no son las únicas. Además se cuentan, entre otras a las que se muestran en la *Figura 2*. Estas empresas, creadas en distintos momentos del desarrollo nuclear argentino, están dedicadas a distintas actividades del ciclo de combustible nuclear y aplicaciones medicinales. En la figura, se muestra también su composición accionaria.

**DIOXITEK S.A.:** Es una sociedad anónima estatal creada en 1997 cuyas acciones corresponden en un 99% a CNEA

y un 1% a la Provincia de Mendoza, siendo CNEA la que mantiene el control de la empresa. La principal actividad de la empresa es la conversión a dióxido de uranio (UO<sub>2</sub>) del concentrado de uranio, que viene realizando desde el año 1982, en el Complejo Fabril Córdoba (CFC), ubicado en el barrio de Alta Córdoba en la ciudad del mismo nombre. Esta instalación fue creada en el año 1944, bajo el auspicio del General Savio, para la industrialización de aleaciones de cromo. Similar a SOMISA, tenía por nombre SOMICROM (Sociedad Mixta para la Industrialización del Cromo y sus Derivados). Funcionó hasta el año 1949.

En 1952 la Dirección General de Fabricaciones Militares le entrega a CNEA la posesión del terreno e instalaciones para realizar investigaciones sobre métodos de procesamiento de mineral de uranio. A partir de ahí se realizaron trabajos de investigación y desarrollo sobre métodos de procesamiento de minerales de prácticamente todas las minas y yacimientos de Argentina hasta que en 1982 se adquirió a Alemania la tecnología para la conversión a UO<sub>2</sub>, actividad a la que se dedicó hasta la actualidad.

**CONUAR S.A.:** Combustibles Nucleares Argentinos S. A. se creó en el año 1981 con el objetivo de convertirse en la proveedora de los combustibles nucleares para las centrales nucleares operadas y a operar en Argentina. La empresa tiene como insumos el dióxido de uranio que fabrica Dioxitek y las aleaciones que se elaboran en FAE S.A.. Elabora las pastillas de UO<sub>2</sub> y realiza el ensamble de los elementos combustibles para Atucha I, Atucha II y Embalse, además de algunos elementos combustibles para reactores de investigación.

CONUAR S.A. es una empresa mixta, propiedad en un 66,66% de la empresa SUDACIA S.A. que forma parte del conglomerado industrial PerezCompanc y el resto pertenece a CNEA. Está ubicada en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), próximo al Aeropuerto internacional.

**FAE S.A.:** Fábrica de Aleaciones Especiales S.A. Esta empresa fue creada en 1986 para realizar el maquinado de

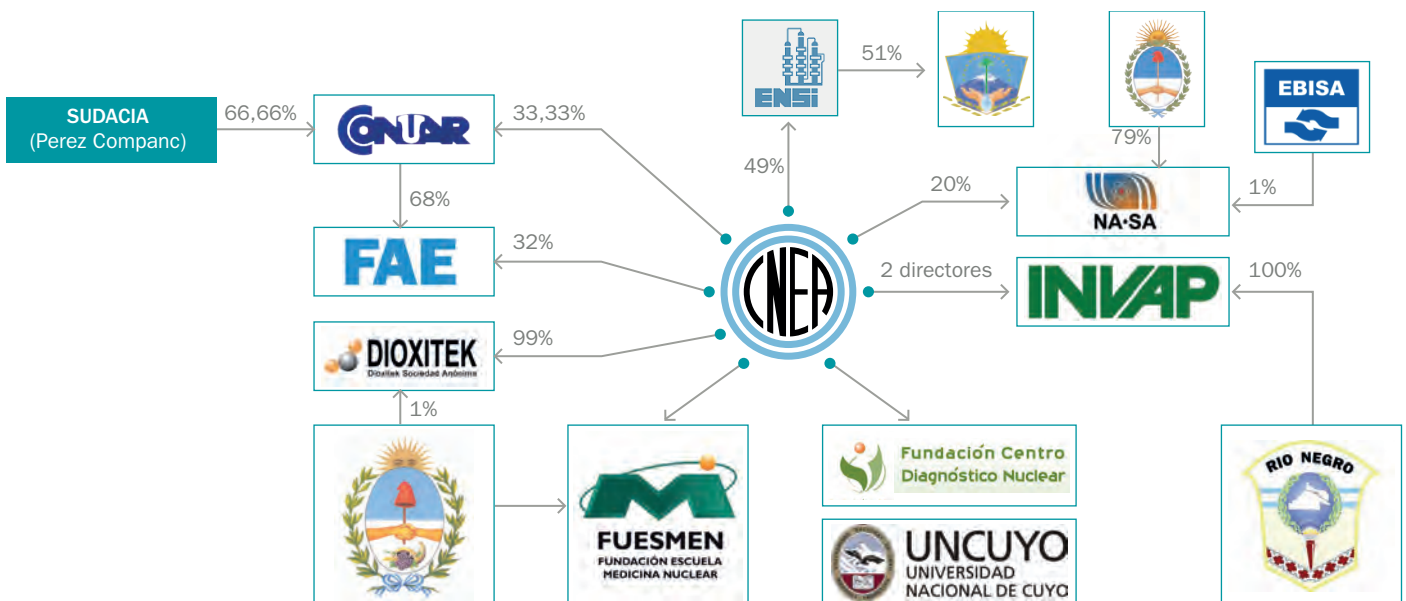


Figura 2: Empresas y organismos relevantes del SNA.

las aleaciones de zircaloy necesarias para los elementos combustibles. Su conformación accionaria es un 68% de la empresa CONUAR mientras que el 32% restante es propiedad de CNEA. Su ubicación es al lado de CONUAR.

ENSI S.E.: Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería Sociedad del Estado. Esta empresa se creó en 1989 por la ley 1827 de la legislatura neuquina. Se creó para realizar la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) que CNEA había adquirido a la empresa suiza SULZER a mediados de los '80. Su objetivo es la operación de la planta y la comercialización del agua pesada, además de realizar distintos servicios de ingeniería para empresa de la zona.

Está ubicada sobre el embalse compensador de Arroyito (aguas abajo del Chocón) en la provincia de Neuquén. La participación accionaria de la misma corresponde en un 51% a la provincia de Neuquén y un 49% a CNEA.

INVAP S.E.: Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado. Empresa creada en el año 1976 con el objetivo de desarrollar y comercializar tecnología derivada de las investigaciones nucleares. Comenzó desarrollando tecnología propia del ámbito nuclear y casi exclusivamente para CNEA, con el tiempo fue ampliando su campo de acción y en la actualidad se especializa en satélites, radares, reactores de investigación, entre otras actividades.

Su sede central está ubicada en San Carlos de Bariloche, y tiene oficinas en diversos lugares. La propiedad de la empresa es completa de la provincia de Río Negro, CNEA solo aporta 2 de 7 directores.

FUESMEN: Fundación Escuela de Medicina Nuclear. Ubicada en Mendoza, surgió a partir de una idea de CNEA, que en 1986 puso en marcha una escuela de posgrado en medicina nuclear y radioisótopos, impulsada por su afán de promover las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en el campo de la salud.

Tal iniciativa encontró amplia resonancia en la Universidad Nacional de Cuyo –la cual otorgó el aval académico– y en el Gobierno de la provincia de Mendoza, que formalizaron la creación de una entidad. Desde aquel comienzo, el propósito de la CNEA fue dotar a la FUESMEN de la infraestructura académica y técnica que asegurase la creación de un ámbito de excelencia en la especialidad, para lo cual resultaba imprescindible proveerla de la tecnología más avanzada.

En tal sentido, invirtió en diversos equipos de diagnóstico por imágenes, rayos x, resonancia magnética nuclear y radioterapia. Entre las incorporaciones más recientes, cuenta con equipos de Tomografía por Emisión de Positrones combina-

dos con Tomografía computada (PET-CT, por su sigla en inglés) y Radioterapia Guiada por Imágenes (IGRT, por su sigla en inglés). En 2011 fue inaugurada una nueva sede de la FUESMEN en la ciudad de San Rafael, llevando al sur de Mendoza los beneficios de la energía nuclear aplicada a la salud.

FCDN: la Fundación Centro Diagnóstico Nuclear fue creada mediante un convenio entre CNEA y la FUESMEN en el año 2004. La FCDN realiza estudios combinados de Tomografía Computada y por emisión de positrones. Lo hace con su moderno equipamiento PET-CT (por su sigla en inglés). En diciembre de 2011, se incorporó el servicio de Resonancia Magnética Nuclear.

La FCDN brinda a otras instituciones públicas y privadas radiofármacos preparados en su propio Ciclotrón (ver Catálogo de Radioisótopos) y elaborados en el Laboratorio de Radiofarmacia.

Además de los mencionados centros, CNEA participa en asociación con el Instituto de Oncología “AngelRoffo” y con el Hospital de Clínicas José de San Martín.

Hay que destacar que la actividad relacionada con la medicina nuclear se realiza en todo el país, contabilizándose más de 430 centros de diagnóstico y/o tratamiento.

## 1.2 MARCO LEGAL

Las actividades de la CNEA se desarrollan dentro de un marco legal variado, con dos normas principales que tutelan su funcionamiento: la Ley Nacional de la Actividad Nuclear N° 24.804 y con su Decreto Reglamentario N° 1.390/98<sup>4</sup>.

Además, la CNEA es responsable de la aplicación de la Ley Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos (Ley N° 25.018<sup>5</sup>), y de la Convención (Internacional) Conjunta sobre la Seguridad en la Gestión de los Combustibles Gastados y la Seguridad en la Gestión de los Residuos Radiactivos, refrendada por la Ley N° 25.279<sup>6</sup>.

En el año 2009 se aprobó en el Congreso de la Nación la Ley N° 26.566<sup>7</sup> donde se declaran de interés nacional las actividades que permitan concretar una cuarta central, la extensión de la vida útil de la Central Nuclear Embalse y el Prototipo de Reactor CAREM.

Además, Argentina es firmante de numerosos tratados y acuerdos internacionales para asegurar el uso pacífico de la energía nuclear. Entre los principales podemos mencionar al Tratado de Tlatelolco<sup>8</sup>, Tratado de No Proliferación de Armas

<sup>4</sup> <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/54706/texact.htm>

<sup>5</sup> <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/53767/norma.htm>

<sup>6</sup> <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/63894/norma.htm>

<sup>7</sup> <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/160000-164999/162106/norma.htm>

<sup>8</sup> El Tratado de No Proliferación Nuclear es la piedra fundamental de los regímenes de No Proliferación. El 22 de diciembre de 1994 el Congreso de la Nación Argentina aprobó el TNP.

Nucleares<sup>9</sup>, Agencia Brasileiro Argentina de Contabilidad y Control de Material Nuclear<sup>10</sup> y Grupo de Proveedores Nucleares<sup>11</sup>, entre los más destacados<sup>12</sup>.

Si bien en nuestro país la actividad nuclear es llevada adelante de acuerdo a la legislación vigente, hay que remarcar que existe legislación a nivel provincial y municipal que le imponen trabas a la misma.

## 1.3 EL CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR – CCN

Se denomina Ciclo de Combustible Nuclear a todas las actividades relacionadas con el manejo del uranio para abastecimiento de un reactor nuclear. Esto incluye actividades mineras, de purificación y conversión, fabricación de elementos combustibles, como así también el tratamiento que se le dé a los combustibles una vez extraídos de la central nuclear.

La denominación CCN no debe ser entendida como una única forma de realizar las actividades, sino que es más un concepto para denominar una serie de actividades que se realizan dependiendo de la tecnología, la economía y los condicionantes políticos internacionales de cada caso.

El CCN se denomina abierto o de un solo paso cuando no se realiza el reprocesamiento de los combustibles nucleares, mientras que un ciclo cerrado es aquel que lleva adelante esta actividad. Por implicancias que exceden ampliamente a un mero análisis económico-tecnológico de la actividad de reprocesamiento, la mayoría de los países no cierra el ciclo de combustible, aunque sin descartarlo completamente de sus actividades.

El ciclo que se realiza en el país se muestra en la *Figura 3*. En Argentina se realiza un ciclo abierto, es decir sin reprocesamiento, aunque todavía no se tomó una decisión sobre el futuro uso de los combustibles gastados.

A continuación se describirán brevemente las distintas etapas del ciclo de combustible nuclear que se realizan en Argentina.

### 1.3.1 MINERÍA DE URANIO

La minería del uranio comprende todas las etapas de exploración geológica (estudios de favorabilidad, cateos, cálculo de recursos y reservas). Por la extensión territorial del país, se realiza o realizó en prácticamente todas las provincias mineras. Esta actividad se viene realizando en el país desde 1952.

### 1.3.2 EXPLORACIÓN

Esta actividad abarca todo el trabajo desde el reconocimiento de grandes extensiones geológicas para el estudio de la favorabilidad uranífera, hasta los cateos, manifestaciones de descubrimientos y estudios de cuantificación de reservas en los yacimientos. En la actualidad existen trabajos en 74 áreas de favorabilidad, exploración mediante cateos en nueve provincias y la cuantificación de recursos próximos a ser explotados en dos áreas principales, Cerro Solo en la Provincia de Chubut y Sierra Pintada en San Rafael, Mendoza.

Las reservas razonablemente aseguradas de uranio argentino que figuran en el Libro Rojo suman poco menos de 10.000 toneladas de uranio (tU), aunque se estima que, sumando los recursos inferidos y los pronosticados esta cantidad podría multiplicarse.

### 1.3.3 PRODUCCIÓN

La producción en el país se realizó de manera ininterrumpida desde 1952 hasta el año 1997, siendo Sierra Pintada la última mina que cerró, por motivos económicos. La producción nacional acumulada hasta entonces en siete minas era de 2509 tU. Desde ese momento se importa todo el uranio que consumen los reactores del país a razón de unas 120 tU/año (suma de los consumos de las CN Atucha I y CN Embalse). A partir de la entrada en operación de la CN Néstor Kirchner (ex Atucha II) esta cantidad prácticamente se duplica, ya que el consumo de la mencionada central asciende a 120 tU/año.

### 1.3.4 RESTITUCIÓN AMBIENTAL DE LA MINERÍA DEL URANIO

La restitución ambiental de la minería del uranio consiste en devolver, en la medida de lo posible, a condiciones previas a la explotación a los yacimientos en los cuales se produjo



■ **Figura 3:** Esquema del Ciclo de Combustible Nuclear que se realiza en Argentina. ©CNEA

<sup>9</sup> Tratado para la prohibición de las armas nucleares en América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco) crea una zona libre de armas nucleares en la región. Entró en vigencia en 1968.

<sup>10</sup> La ABACC se crea a través del Acuerdo para el Uso Exclusivamente Pacífico de la Energía Nuclear, llamado “Acuerdo de Guadalajara” entre Argentina y Brasil el 18 de julio de 1991. El objetivo era crear un Sistema Común de Contabilidad y Control (SCCC) sobre todos los materiales nucleares de todas las instalaciones de ambos países utilizadas para almacenarlos.

<sup>11</sup> El Grupo de Proveedores Nucleares, comúnmente llamado por sus siglas en inglés “NSG” (Nuclear SuppliersGroup), es un acuerdo informal de 34 Estados que aceptaron un cuerpo de directrices con las que regulan sus exportaciones de materiales nucleares, de manera de impedir desvíos de material de uso dual

<sup>12</sup> Para una mayor descripción de los diversos regímenes de desarme nuclear se aconseja el libro Desarme nuclear, Regímenes internacional, latinoamericano y argentino de no proliferación del embajador Marcelo F. Valle Fonrouge. Publicado por el Instituto de las Naciones Unidas para la Investigación sobre el Desarme. Ginebra, Suiza.



uranio y que no se planea producir más. Estas actividades se realizan a través del Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio –PRAMU–, un programa que se viene desarrollando en CNEA desde el año 1997 ya que por ley (25.018 Ley Nacional de Residuos Radiactivos) dicha actividad le corresponde.

El objeto de este proyecto es lograr que, en todos aquellos sitios en los cuales se han desarrollado actividades intrínsecas a la minería del uranio, se restituya el ambiente a fin de minimizar los riesgos para la salud de la población y el ambiente. Para ello se determinan, en primer lugar, las características del problema en cada sitio mediante los estudios necesarios que identifiquen los impactos producidos y potenciales, las vías posibles de contaminación, los elementos presentes, etc. Posteriormente se desarrollarán, sobre la base de técnicas internacionalmente aceptadas, las posibles soluciones para la gestión de las colas y la restitución en cada sitio específico.

La minería y procesamiento de los minerales de uranio produce grandes cantidades de residuos que deben ser gestionados en forma segura. Los residuos producidos pueden ser sólidos y líquidos, generándose en la etapa de minería:

- a) roca estéril,
- b) minerales de baja ley,
- c) agua de mina,

y en la etapa de procesamiento:

- d) colas de mineral,
- e) lodos de precipitación y
- f) efluentes líquidos del proceso.

Por las características de los procesos utilizados en la extracción de uranio, cuando se finaliza la producción de un yacimiento minero, en el sitio quedan lo que se llaman los estériles o colas de mineral. Éstas se caracterizan por sus grandes volúmenes y relativamente bajas concentraciones de radionucleídos naturales de larga vida. El proyecto prevé para cada lugar objetivos de diseño tales como: la atenuación de la emisión de radón y la radiación directa; la estabilización y protección contra la erosión para evitar la dispersión de colas; el aislamiento y el confinamiento de las colas, la reducción de la infiltración y la protección contra la erosión para evitar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales y la descontaminación y confinamiento de materiales contaminados para evitar su dispersión. En algunos lugares



■ Figura 4: Esquema de encapsulado de colas de mineral.

próximos a ciudades o centro urbanos, lo que se realiza también es la parquización del sitio, de manera de lograr un entorno para el desenvolvimiento social más favorable.

### 1.3.5 PURIFICACIÓN / CONVERSIÓN A UO<sub>2</sub>

El siguiente proceso del ciclo de combustible es la conversión de los concentrados de uranio que se extraen de la mina, comúnmente llamados “yellowcake” en dióxido de uranio grado nuclear. Este proceso de conversión y purificación, en Argentina se realiza en el Complejo Fabril Córdoba (CFC) que está a cargo de la empresa Dioxitek S.A. La planta cuenta con una capacidad de conversión a UO<sub>2</sub> de 150 t/año.

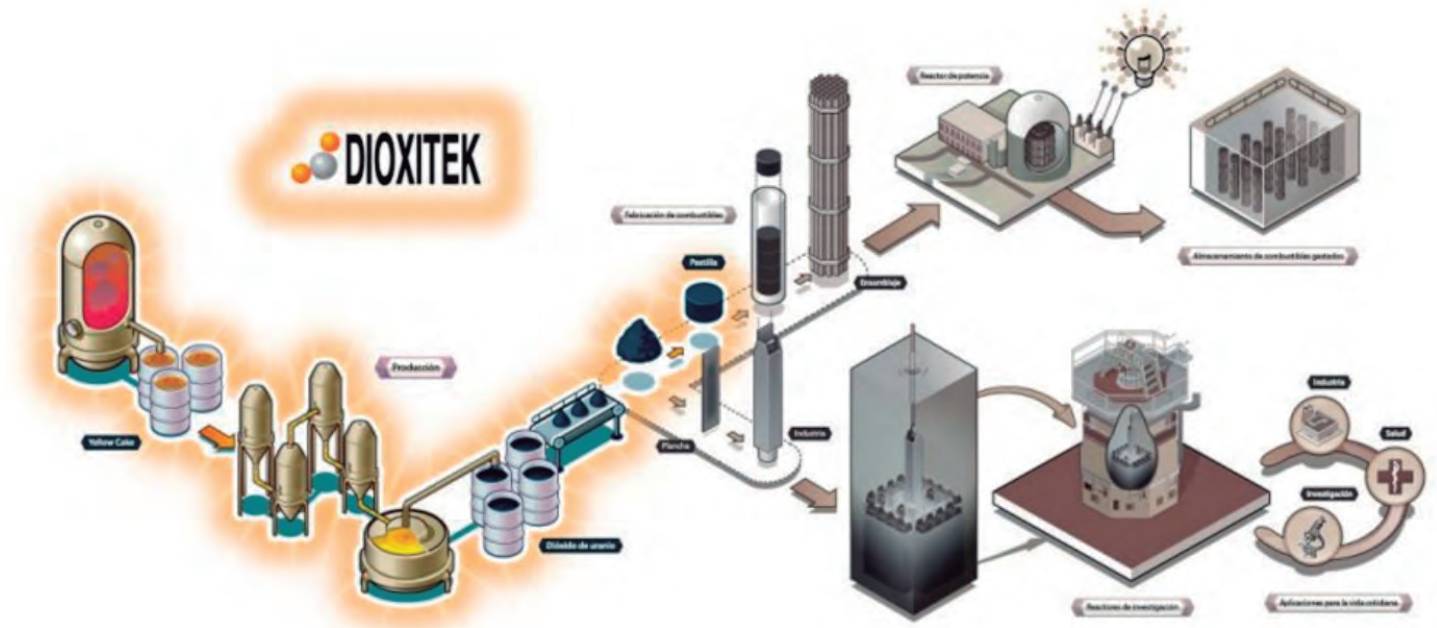
La materia prima es el concentrado que se obtiene en las minas de uranio (el yellow cake). En las minas se realiza lo que se llama el “beneficio de minerales” que consiste en incrementar la concentración del mineral de interés desde los niveles naturales –una mina de uranio promedio tiene una concentración natural de 0.1%– hasta un nivel económicamente rentable. El proceso bajo el cual se realiza depende del tipo de mineral que contenga uranio, y, dependiendo del proceso, el producto de la mina puede ser U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> o diuranato de amonio (ADU). Las concentraciones finales llegan valores normales de 85% de pureza.

El producto es almacenado en forma de tambores de 200 litros que se sellan para su traslado. El uranio natural concentrado es un producto levemente radiactivo, los niveles de radiactividad de un tambor, medidos a un metro de distancia, son menos de la mitad de la radiación -debida a rayos cósmicos- en un vuelo comercial.

Una vez en la planta, el concentrado es sometido a una serie de operaciones químicas de disolución, purificación, conversión y homogeneización para obtener polvos de UO<sub>2</sub> con estrictas especificaciones de tamaño, rugosidad y pureza. El producto que no llega a la calidad deseada se recicla y reprocesa y los efluentes líquidos y gaseosos se tratan de manera adecuada: los líquidos son neutralizados y precipitados para generar residuos sólidos que son más fáciles de almacenar y los gaseosos son filtrados y adsorbidos.

El proceso de conversión y purificación química obtiene un compuesto de “grado nuclear”, con más del 99,99% de pureza química en UO<sub>2</sub>. El producto de la planta luego se traslada a la empresa CONUAR, donde se utiliza para fabricar las pastillas para los elementos combustibles de las centrales nucleares del país.

Todo efluente que contenga uranio es reprocesado, no solamente por una cuestión de seguridad industrial y de cuidado del ambiente, sino porque este tipo de instalaciones son sometidas a controles de salvaguardias –para evitar el desvío de material nuclear- por parte de la ABACC y el OIEA en los acuerdos internacionales que tiene el país.



■ Figura 5: Esquema de conversión del concentrado de uranio (yellow cake) a dióxido de uranio realizado por la empresa Dioxitek.

La localización del CFC en la ciudad de Córdoba trajo algunos roces con el gobierno local por lo que la empresa está en pleno proceso de reubicación, con un proyecto de traslado al polo científico tecnológico de Formosa.



■ Figura 6: Maqueta electrónica del proyecto NPU a ubicarse en el polo científico tecnológico de la ciudad de Formosa.

### 1.3.6 ENRIQUECIMIENTO

Se llama enriquecimiento a los procesos de concentración de un isótopo de interés, siendo el más conocido el enriquecimiento del isótopo 235 del uranio. Son isótopos dos átomos del mismo elemento que tienen diferente número de neutrones. Su comportamiento químico es prácticamente igual, pero a nivel físico-atómico presentan comportamientos diferentes, lo cual crea la necesidad de separarlos. Por ejemplo, el U-235 fisiona con neutrones de baja energía (los llamados térmicos) mientras que para que el U-238 fisione se necesitan neutrones de alta energía. Tecnológicamente es mucho más sencillo trabajar con neutrones térmicos (que se consiguen moderando la reacción nuclear con agua), que con neutrones rápidos ya que es necesario contar con un metal líquido como refrigerante/moderador.

Pero, las proporciones en las que se encuentra el U-235 en la naturaleza son del orden del 0,72%, siendo el resto U-238 junto con unas trazas de U-234. El U-235 es el uranio útil para reactores térmicos. Para mantener una reacción nuclear en cadena estable es necesario hacer una de dos cosas. La primera es aumentar la proporción de U-235, o sea, enriquecer el uranio. La segunda, disminuir las pérdidas de neutrones por absorción en el refrigerante y moderador, que se logra utilizando agua pesada. La primera combinación da origen a los reactores tipo PWR, de uranio enriquecido y agua liviana, mientras que la segunda son los reactores PHWR, uranio natural y agua pesada.

Las proporciones de U-235 utilizadas en los reactores de producción de energía eléctrica van del 3 al 5% dependiendo del tipo de reactor. En cambio, los reactores de investigación, aquellos donde se producen la mayoría de los radioisótopos utilizados en fines medicinales, utilizan el U-235 al 20%, lo mismo que las placas de uranio que se irradian para obtener el radioisótopo más usado en medicina, el Mo-99. Una bomba nuclear necesita U-235 enriquecido al 90% por lo menos. Los dos primeros usos son aceptables y totalmente benéficos para la sociedad, mientras que el tercero (la bomba) es un desquicio de locos. La clave está en que el mismo aparato (o conjunto de aparatos) utilizado para llevar el porcentaje de uranio al 3, 5 o 20% es el que se utiliza para llevarlo al 90%. Por esa razón es que el desarrollo de la tecnología de enriquecimiento es políticamente sensible.

Las centrales con uranio enriquecido son más económicas en el costo final de su combustible (por energía generada) que las que funcionan con uranio natural. La concentración de U-235 sirve para dos cosas, incrementar la cantidad de energía que me entregará un combustible puesto en el reactor y reducir los inventarios de combustibles gastados, eso sí, con más productos de fisión. A modo de ejemplo, la conversión de los combustibles de Atucha I de uranio natural



a uranio levemente enriquecido (0,85% en U-235) produjo reducciones del 30% en los costos de combustible, 20% en el uranio requerido y 10% de los costos de generación.

La línea tecnológica seleccionada por el país era la de reactores de uranio natural con agua pesada porque se consideraba que el enriquecimiento era una tecnología demasiado compleja y que presentaba demasiadas aristas complicadas en el plano internacional. Pero fue el contexto internacional el que empujó al país a emprender esta tarea. En efecto, el endurecimiento del régimen de no proliferación a raíz de la explosión nuclear en la India (1974) y la ley de no proliferación nuclear de los Estados Unidos (1977) indujeron al país a considerar el desarrollo de esta tecnología. Hasta ese momento, la provisión del uranio enriquecido se hacía a través de un convenio con los EE.UU., que luego de aprobar la ley, se negó a cumplir con dicho acuerdo a menos que Argentina pusiese todo su plan nuclear en salvaguardias y renunciase al desarrollo de tecnologías sensitivas.

Entre los años 1978 y 1983 se desarrolló en secreto el proyecto construcción de una planta de enriquecimiento por difusión gaseosa en Pilcaniyeu, siendo anunciado dos semanas antes de la asunción del presidente Alfonsín. A los pocos años el proyecto, habiendo cumplido su objetivo de demostración del desarrollo de tecnología, fue dado por finalizado y sus instalaciones se quedaron en stand-by. En los últimos años, simultáneamente a que Argentina comenzara la recuperación de sus capacidades, surgieron en el mundo algunas iniciativas para la multilateralización del ciclo de combustible. Estas iniciativas lo que buscan es minimizar la cantidad de lugares donde se fabrican los combustibles y que estos pasen a ser un servicio a proveer junto con la central. La posición argentina es de rechazo a estas iniciativas, ya que plantea como motor de desarrollo la realización local de todas las actividades productivas posibles, evitando la compra de material terminado.

El método de difusión gaseosa consiste en hacer pasar un gas de uranio a través de membranas porosas, que facilitan el paso del gas más liviano y dificultan el paso del gas más pesado. En ese proceso el gas de uranio que se utiliza es el Hexafluoruro de Uranio (UF<sub>6</sub>), que debe ser mantenido por sobre los 70 °C para que no se solidifique en las paredes de los equipos y cañerías. Además en el desarrollo del proceso de difusión, el gas pierde parte de su energía cinética, por lo cual debe ser aumentada su presión cada vez que el mismo pasa a través de las membranas. Es por ello que después de cada pasaje se requiere un compresor, que adecue el flujo de material para ser introducido nuevamente dentro de la siguiente etapa de separación.

Es importante hacer notar que en cada pasaje a través de las membranas el gas se enriquece en el isótopo 235 aproximadamente un 0.0016 %, por lo que para alcanzar diferentes grados de enriquecimiento se requiere hacerlo pasar sucesivas veces por las membranas, en consecuencia para lograr el grado de enriquecimiento deseado se conectan varias etapas de enriquecimiento una a continuación de otra, hasta alcanzar el nivel de enriquecimiento deseado.



■ Figura 7: Vista del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu.

Los proyectos de enriquecimiento llevados adelante en Argentina cumplen con múltiples objetivos, en función de ello se describen a continuación los mismos.

- a) Mantener a la Argentina como miembro de los países proveedores del ciclo de combustible nuclear.
- b) Mantener la capacidad técnica de enriquecer uranio.
- c) Mantener la infraestructura necesaria para garantizar el suministro de uranio a las centrales nucleares de potencia.
- d) Desarrollar a partir de la experiencia obtenida métodos más eficientes de producir uranio enriquecido.
- e) Entrenar personal y capacitarlo en el manejo de la tecnología de enriquecimiento y actividades conexas.

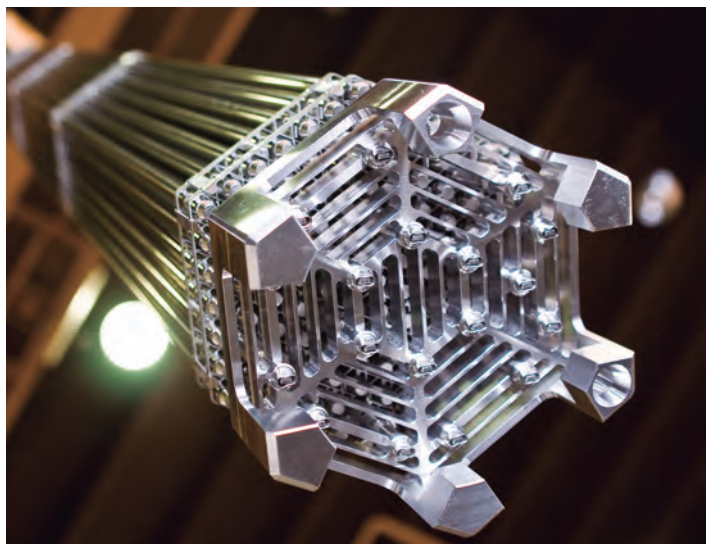
### 1.3.7 INSUMOS DE CENTRALES NUCLEARES

#### 1.3.7.1 ELEMENTOS COMBUSTIBLES

El paso siguiente a la obtención del uranio purificado es la elaboración de los elementos combustibles. Los polvos de UO<sub>2</sub> son compactados y sintetizados en pastillas cerámicas cilíndricas de aproximadamente 1 cm de diámetro por 1 cm de largo. Estas pastillas se insertan en unas vainas de una aleación de circonio y varias vainas se ensamblan para formar lo que se llama elemento combustible.

Dependiendo del tipo de tecnología, estos ensambles pueden variar en largo y su forma. En el caso de las centrales de Atucha tienen una configuración cilíndrica y miden aproximadamente 5 metros. En cambio, para la CNE, si bien tienen una configuración cilíndrica, no llegan a los 60 centímetros en su largo. En el caso del reactor CAREM la configuración es hexagonal con un largo activo –porción del combustible que contiene las pastillas- de aproximadamente 1,2 m. Otros reactores presentan configuraciones cuadradas.

En nuestro país, el ensamble de los elementos combustibles se realiza en la fábrica de CONUAR, en Ezeiza. Esta planta es propiedad en un 66,66% de Sudacia, perteneciente al grupo Pérez Companc y el resto a CNEA. Por otra parte, las vainas de Zircaloy se fabrican en la empresa hermana de FAE, perteneciente a CONUAR (68%) y CNEA (32%).



■ Figura 8: Elementos combustibles de Atucha II, CAREM 25 y Embalse

### 1.3.7.2 AGUA PESADA

Un elemento esencial para las centrales que funcionan con uranio natural es el agua pesada D<sub>2</sub>O. El Deuterio (D) es un isótopo del Hidrógeno (H) que se encuentra en la naturaleza en una proporción de 0,015% (uno de cada 6500 átomos de hidrógeno es un deuterio). Su principal función dentro de un reactor es ayudar a la economía de neutrones, ya que absorbe menos neutrones que el hidrógeno. Esto permite usar uranio natural para sostener una reacción en cadena controlada.

En Argentina, el agua pesada se produce en la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) que pertenece a la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería (ENSI), una asociación entre CNEA (49%) y la Provincia de Neuquén (51%). La planta, ubicada sobre el río Limay, en la presa Arroyito, puede producir hasta 200 toneladas de agua pesada por año por el método de intercambio isotópico monotérmico amoníaco-hidrógeno.

La planta fue adquirida a la empresa Suiza Sulzer y finalizada a fines de los '80. En consonancia con la detención de las actividades nucleares, la PIAP funcionó de manera intermitente desde el año 1994 para responder a demandas del exterior en su mayoría. En el año 2004 se reactivó la planta para cubrir las necesidades de reposición de las centrales Atucha I y Embalse y aprovisionar al reactor exportado a Australia. A partir del año 2008, comenzó la producción de las 689 t de D<sub>2</sub>O necesarias para la CN-NK, finalizando la producción en diciembre de 2012.

### 1.3.8 GENERACIÓN DE NUCLEOELECTRICIDAD

La generación de electricidad de origen nuclear se basa en el principio de la gran liberación de energía que ocurre al fisionarse (partirse) un átomo de uranio. Un átomo de uranio que se fisiona entrega más de un millón de veces la energía liberada por una molécula de metano cuando combustiona. Un reactor nuclear es un sistema donde la energía nuclear

es liberada mediante una reacción en cadena controlada y luego se aprovecha. Es fuente de energía térmica (calor) y radiante (radiaciones). Si se lo diseña para aprovechar la energía térmica, se llama reactor de potencia. En cambio, si se diseña para aprovechar las radiaciones, es un reactor de investigación.

Los componentes de un reactor nuclear son el combustible, un moderador, un refrigerante, el blindaje y el material de control. En las centrales argentinas el combustible es uranio natural (CNE y CN-NK) o de bajo enriquecimiento (CNA-I). El moderador utilizado en estas centrales es agua pesada y también actúa como refrigerante. El blindaje protege a las personas e instalaciones confinando la radiación en un pequeño espacio. Por último, el material de control se utiliza para “manejar” el reactor (prenderlo, apagarlo, aumentar su potencia, etc.).

Un reactor de potencia trabaja a más de 300° C y 100 atmósferas de presión. Su única función es calentar agua que circula en el denominado Circuito Primario. En este circuito, el agua intercambia calor con el agua del circuito secundario, que se transforma en vapor, haciendo girar una turbina que, acoplada a un generador eléctrico, producirá la electricidad que usamos. El vapor, luego de pasar por la turbina es condensado y vuelto a recircular, produciendo lo que se llama ciclo Rankine. La condensación se realiza mediante otro intercambiador de calor, esta vez con un tercer circuito de agua que es la que termina liberando el calor residual del ciclo termodinámico a la atmósfera.

Las centrales nucleares en funcionamiento en el país son tres, mientras que el CAREM se encuentra en construcción:

- Central Nuclear Presidente Perón (Ex- Atucha I)
- Central Nuclear Embalse
- Central Nuclear Néstor Kirchner (Ex-Atuchall)
- CAREM

#### Central Nuclear Presidente Perón

La Central Nuclear Atucha I fue conectada al Sistema Eléctrico Nacional el 19 de marzo de 1974 y comenzó su producción comercial el 24 de junio de ese mismo año, convirtiéndose en la primera central nuclear de América Latina. Está ubicada sobre la margen derecha del Río Paraná de las Palmas, a 100 km de la ciudad de Buenos Aires en la localidad de Lima, Partido de Zárate. Actualmente cuenta con una potencia eléctrica bruta de 363 megavatios eléctricos y emplea una mezcla de uranio natural (0,72%) y uranio levemente enriquecido al 0,85%. La central es refrigerada y moderada con agua pesada (D<sub>2</sub>O), y pertenece al tipo de reactores PHWR - reactor presurizado de agua pesada -. El constructor principal fue la empresa alemana Siemens AG.

El núcleo del reactor está compuesto de 252 posiciones con canales refrigerantes. Dentro de cada uno de ellos se alojan los elementos combustibles que contienen el uranio en forma de pastillas de dióxido de uranio (UO<sub>2</sub>) sinterizadas. El consumo de combustible llega a las 30 toneladas de uranio natural por año.

## Central Nuclear Embalse

La Central Nuclear Embalse (CNE) se encuentra en la provincia de Córdoba, en el Embalse Río Tercero, sobre el río homónimo. Entró en operación en el año 1984. La central es de tipo CANDU (CANadianDeuteriumUranium). Esta tecnología, de diseño canadiense utiliza uranio natural y agua pesada para su funcionamiento, pero se diferencia de las Atuchas en que se reemplaza el recipiente de presión primario por una serie de canales presurizados donde se alojan los combustibles nucleares. Esta configuración de “tubos de presión” tiene por objetivo central eliminar el mayor componente de una central de este tipo, el recipiente de presión. Dado que este tipo de centrales funcionan con uranio natural, para que el reactor alcance la criticidad, las dimensiones de los núcleos deben ser mayores que si fuese uranio enriquecido, esto, traducido a dimensiones de un recipiente de presión, da recipientes enormes que desfavorecen la ecuación económica. Es por eso que este tipo de centrales, reemplaza ese componente por numerosos tubos de presión que mantienen las condiciones de operación del circuito primario (300° C y 100 atm).

Esta central, además tiene la ventaja de poder producir el Cobalto-60, un isótopo radiactivo utilizado en aplicaciones industriales (gammagrafía) y médicas (bombas de cobalto). La Central Nuclear Embalse, Argentina participa con el 10% de la producción a escala mundial.

## Central Nuclear Néstor Kirchner

La Central Nuclear Néstor Kirchner (Ex-Atucha II) comenzó a planificarse en el año 1977. En el año 1980 se crea la empresa mixta ENACE S.A. (propiedad 75% CNEA y 25% Siemens-KWU) para la construcción de centrales nucleares en el país, y se firman los contratos con Siemens. Un año después comienza la construcción con el objetivo de comenzar a producir electricidad en 1987.

Para 1984 comenzaron a notarse las restricciones económicas en el proyecto. Aunque nunca fue oficialmente paralizada, para 1987 la construcción estaba detenida. En el año 1994, cuando se reorganiza el sector nuclear con el Decreto N° 1540, se constituye la empresa Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA) que queda a cargo de la finalización de la Central Nuclear. La central había quedado paralizada con un avance físico del 80% en forma global. El avance en la obra civil llegaba al 90% y la adquisición de suministros pasaba el 95%, mientras que en prefabricados de tuberías el avance era del 60% y el montaje electromecánico era menor al 20%.

La discusión sobre la finalización de Atucha II se retomó en 2004. Dentro NA-SA se creó la Unidad de Gestión Atucha II, a cargo del proyecto, comenzando los trabajos en el año 2006. Este proyecto concluyó el 18 de febrero de 2015, cuando la ARN autorizó a la central a operar al 100% de potencia.

## CAREM

CAREM es el acrónimo de Central ARGentina de Elementos

Modulares, una central de baja potencia que presenta algunos conceptos que mejoran su operación y la seguridad de la planta. Este reactor vio su origen conceptual a inicios de los '80. En el año 1984 fue presentado por primera vez en el ámbito internacional y desde entonces se fueron realizando distintos avances en los conceptos, la ingeniería, y hasta en algún momento el proyecto en sí. A partir del año 2006, el gobierno declara de interés nacional la construcción del CAREM, encomendando a CNEA realizar las acciones necesarias para la construcción del reactor.

A diferencia de un PWR tradicional, el circuito primario del CAREM se encuentra totalmente integrado dentro del recipiente de presión y el refrigerante circula por convección natural. Esta característica, una de las distintivas de este reactor, por un lado reduce los costos de equipamiento, ya que no hay necesidad de construir intercambiadores de calor, presurizadores, bombas de circulación y todas las cañerías del primario. Por otra parte, este equipo contiene más de 10 veces la cantidad de agua que un PWR típico, lo que se traduce en una operación más estable (por la inercia térmica) y una mejor respuesta del reactor ante situaciones no previstas.

Dentro del recipiente de presión, un fenómeno denominado “convección natural” provoca la circulación del agua del circuito primario sin necesidad de utilizar bombas u otros dispositivos. Las diferentes temperaturas que ocurren dentro del recipiente de presión y la ubicación de sus fuentes a distintas alturas generan una circulación natural del agua.

Las llamadas “fuente caliente” (el núcleo) y “fuente fría” (los generadores de vapor) están ubicadas con una diferencia de altura tal que garantiza que el agua suba por el centro del recipiente al calentarse cuando toma contacto con el núcleo, y descienda luego por las paredes del recipiente, enfriándose al ‘bañar’ y entregar parte de su temperatura a los generadores de vapor. Al llegar a la base del recipiente, el agua se calentará al atravesar los elementos combustibles y comenzará nuevamente el proceso.

Otra de las ventajas que genera la integración es la reducción significativa de caños y otras conexiones hacia el exterior del recipiente de presión, lo cual práctica elimina la posibilidad de la pérdida de líquido refrigerante, asociado habitualmente a las roturas de cañerías. La integración también incluye a los mecanismos que accionan las barras de control, compuestas por elementos capaces de absorber los neutrones que se liberan durante el proceso de fisión nuclear.

Otro aspecto relevante de su diseño lo comprenden los sistemas pasivos de seguridad, que para accionarse dependen de las leyes básicas de la física -como la gravedad- y no de sistemas activos que requieren alimentación eléctrica y mantenimiento adicionales.

En la central CAREM, los mecanismos de control se accionan en forma hidráulica y administran el funcionamiento de dos conjuntos de barras. Uno actúa durante la operación (sistema de ajuste y control), insertando o retirando el material absorbente según se requiera. Y otro que actúa sólo



en caso de ser necesario “apagar” el reactor: caen por gravedad, insertándose en los elementos combustibles y deteniendo por completo la reacción nuclear en sólo un par de segundos (sistema de extinción rápida).

### Componentes principales

#### *Recipiente de presión*

Es el equipo de mayor tamaño (11 metros de altura por 3,4 metros de diámetro, aproximadamente) y está diseñado para operar a elevadas temperaturas y en condiciones de alta presión. Sus paredes tienen un espesor considerable (varía entre 13 y 20 cm en sus distintas áreas). Están construidas en acero forjado con un revestimiento interior de acero inoxidable y se encuentran rodeadas por una gruesa estructura de hormigón y acero que actúa como contención y blindaje a la vez, tal como ocurre en todas las centrales nucleares del mundo. De esta manera se limita al máximo cualquier posibilidad de escape o filtraciones al exterior del recinto.

#### *Circuito primario*

El circuito primario es el sistema que facilita la circulación del refrigerante, cuya función es enfriar el núcleo que contiene los elementos combustibles. En el caso del CAREM, el refrigerante es agua liviana, que actúa además como moderador de la fisión nuclear, el proceso durante el cual se “quemán” los elementos combustibles liberando grandes cantidades de energía en forma de calor.

#### *Núcleo*

El núcleo del CAREM contiene 61 elementos combustibles diseñados íntegramente en CNEA. Cada uno de ellos está compuesto por más de 100 barras con uranio de bajo enriquecimiento (entre 1,8 y 3,1%), además de algunos materiales absorbentes que ayudan a mantener controlado el proceso de fisión.

## 1.4 CICLO DE RADIOISÓTOPOS

Los radioisótopos son elementos (isótopos) que emiten radiación y que son utilizados con distintos fines. Cada uno de esos isótopos tiene distintas características propias, como el tipo de radiación que emite (alfa, beta, gamma) y el período de semi-desintegración, entre otras. Una de sus aplicaciones más difundidas se encuentra en el área de la salud, donde los radioisótopos tienen dos usos fundamentales; diagnóstico y tratamiento.

Para el primero se usan los isótopos radiactivos de elementos como el Carbono, el Iodo y el Molibdeno para conocer el funcionamiento de determinados órganos. Se los denomina “trazadores”. Las principales aplicaciones de estas técnicas

están relacionadas con la detección del cáncer en tiroides, hígado, vesícula, intestinos, corazón y pulmón, entre otros. Para el tratamiento, las radiaciones ionizantes se utilizan para destruir lesiones cancerosas. Para ello, se expone el tumor a dosis procedentes de fuentes de radiactividad externas (equipos de rayos X, radioterapia con fuente de cobalto-60) o internas (braquiterapia, radioterapia metabólica).

Existen, a grandes rasgos, dos formas de producción de radioisótopos. La primera es en un reactor, donde se obtienen a partir de la fisión del U-235. La segunda es a través del bombardeo de partículas cargadas (protones) en un ciclotrón. Dependiendo del tipo de radioisótopo a obtener y sus características físicas, se procede en uno u otro método.

Aunque existen numerosos radioisótopos que se utilizan, la mayoría de los usos se concentran en unos pocos. Estos son básicamente el molibdeno-99 (Mo-99), el Iodo-131 (I-131), el Flúor-18 (F-18) y el cobalto-60 (Co-60). Los dos primeros son producidos en un reactor, y son productos de la fisión del U-235. El F-18 se produce en ciclotrones que deben estar cerca de la demanda, ya que la vida media<sup>14</sup> de este radioisótopo es de 109 minutos. El Co-60, como ya lo mencionamos, se produce en la central nuclear Embalse.

La producción de radioisótopos de fisión a escala industrial se realiza en el reactor de investigación RA-3 y sus dependencias asociadas, ubicadas en el Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Buenos Aires). En diciembre de 1967, el RA-3 fue inaugurado oficialmente con una potencia de 0,5 MW con el objetivo de cubrir la demanda nacional de radioisótopos de uso médico, pero también implícitamente pensado para acrecentar la capacidad nacional en tecnología nuclear. A lo largo de los años fue incorporando innovaciones tecnológicas y, tres años después, llegó a operar regularmente con una potencia de 5 MW.

Esto se concretó el 8 de junio de 2003, cuando la Autoridad Regulatoria Nuclear otorgó la licencia a la CNEA para duplicar la potencia de 5 MW a 10 MW. Eso, además, permitió aumentar al doble la producción de radioisótopos hasta cubrir toda la demanda nacional de Molibdeno-99 y proveer a Brasil del mismo elemento.

Luego de la obtención del radioisótopo en el reactor, el siguiente paso es la purificación del mismo, que se realiza en una planta de producción de radioisótopos. A través de diversas operaciones radioquímicas, se obtiene el elemento de interés, purificado para su posterior uso. En el caso del Mo-99, el radioisótopo más usado (más del 80% de las dosis usadas en medicina nuclear son de este radioisótopo), se elaboran los generadores.

La corta vida media del tecnecio-99m (radioisótopo derivado del Mo-99) de 6 horas hace del almacenamiento y transporte muy caro. En su lugar se suministra a los hospitales el Mo-99 después de su extracción de los blancos de uranio irradiado por neutrones y su purificación en las instalaciones de proce-

<sup>14</sup> La vida media (o período de semi-desintegración) es el tiempo que debe pasar para que la actividad decaiga a la mitad de su valor.

samiento. Los generadores, son dispositivos diseñados para proporcionar protección contra la radiación para el transporte y para reducir al mínimo el trabajo de extracción realizada en el centro médico. Como el Mo-99 tiene una vida media de 66 horas, el generador puede llegar a ser utilizado durante una semana en el hospital o centro de salud.

## 1.5 MEDICINA NUCLEAR

La medicina nuclear diagnostica y trata enfermedades empleando pequeñísimas cantidades de radiofármacos. Se trata de sustancias generadas mediante tecnología nuclear que se implantan en los órganos, los huesos o los tejidos específicos y permiten detectar alteraciones o enfermedades en forma precoz, lo que a su vez ayuda a realizar tratamientos más efectivos.

Además, permite detectar alteraciones mucho antes de que las enfermedades sean clínicamente detectables lo cual repercute significativamente en tratamientos tempranos más efectivos y pronósticos frecuentemente más favorables. Para llevar a cabo los estudios requeridos se inyectan, por vía endovenosa, sustancias radioactivas que se desintegran al correr por el flujo sanguíneo liberando energía que es rastreada por una cámara gamma. De esta manera, se conforma un radioisótopo que unido a un fármaco (radio-fármaco) va a dirigirse, según sus características, a diferentes órganos o tejidos.

Pero lo más importante de este tipo de tratamiento son sus ventajas. En primer lugar no es invasivo, es decir que no se requiere de cirugía, el corte de la piel u otros órganos. Por otro lado, las aplicaciones nucleares realizan estudios funcionales, donde a través de la medicina nuclear se observa el funcionamiento de los sistemas, no solo la forma de los órganos. La radiación no produce molestias durante la aplicación, y al estar controlada su aplicación el riesgo de las radiaciones es bajo. Por último, también es favorable la rapidez en la entrega de información. Hoy en día, existen

casi 100 diferentes tipos de evaluaciones diferentes que se realizan mediante la medicina nuclear y no hay órgano que no pueda ser explorado por esta técnica.

### 1.5.1 CENTROS DE MEDICINA NUCLEAR EN ARGENTINA

En nuestro país la medicina nuclear se lleva adelante en más de cuatrocientas instalaciones distribuidas por todo el país (sin contabilizar los laboratorios de radioinmunoensayos). Hoy en día, existen casi 100 diferentes tipos de evaluaciones diferentes que se realizan mediante la medicina nuclear y no hay órgano que no pueda ser explorado por esta técnica.

Los equipos PET (tomógrafos por emisión de positrones) son los más complejos. La Tomografía por Emisión de Positrones es una técnica no invasiva de diagnóstico e investigación "in vivo" por imagen capaz de medir la actividad metabólica del cuerpo humano. Al igual que el resto de técnicas diagnósticas en Medicina Nuclear como el SPECT, la PET se basa en detectar y analizar la distribución tridimensional que adopta en el interior del cuerpo un radiofármaco de vida media ultracorta administrado a través de una inyección intravenosa. Según qué se desee estudiar, se usan diferentes radiofármacos, aunque el más usado es el 18-FDG (Fluoridesoxiglucosa, con el radioisótopo F-18), generalmente elaborado en un ciclotrón ubicado en la misma instalación donde se encuentra el PET.

La SPECT o tomografía computarizada de emisión monofotónica (en inglés single photon emission computed tomography) es una técnica médica de tomografía que utiliza rayos gamma. Es muy parecida a una radiografía, pero utiliza una cámara sensible a los rayos gamma y no a los rayos X. Como en una radiografía, cada una de las imágenes que se obtienen es bidimensional, pero pueden combinarse muchas imágenes tomadas desde distintas posiciones alrededor del paciente para obtener una imagen tridimensional. Esta imagen tridimensional puede después manipularse informáticamente para obtener secciones dimensionales del cuerpo en cualquier orientación.

PROVINCIA	PET	SPECT	RADIOTERAPIA EXTERNA	RADIOTERAPIA INTERNA
CABA + Buenos Aires	18	136	55	20
Pampeana	4	46	23	16
Cuyo	1	10	9	2
Nordeste	0	9	7	3
Noroeste	0	14	9	5
Patagonia	0	9	4	3
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>224</b>	<b>107</b>	<b>49</b>



## 2

## DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL 2006-2015 DEL SISTEMA NUCLEAR ARGENTINO (SNA)

En agosto de 2006 se anunció el inicio de obras para finalizar Atucha II, lo que puede considerarse el punto de partida de la reconstrucción del sector nuclear argentino. Simultáneamente, se impulsaron varias iniciativas en el sector –tanto productivas como en investigación y desarrollo– a tono con el resurgimiento a escala mundial. Este renacer se puede ubicar en un contexto mundial más amplio –con el encarecimiento y volatilidad de los combustibles fósiles y las presiones para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero– pero en Argentina este proceso tuvo sus particularidades, esencialmente por el lugar en el que había quedado la energía nuclear.

La reactivación no fue sencilla, ya que la energía nuclear sigue siendo una fuente energética que despierta tantos apoyos como rechazos. Esto se pudo observar durante el año 2011 con la reacción mundial luego del impresionante terremoto seguido por un tsunami en Japón que arrasó con las centrales de Fukushima. Con un impacto radiológico acotado, el accidente impulsó a países como Alemania a acelerar la clausura de sus centrales nucleares, a China poner en suspenso su plan nuclear (el más ambicioso a nivel mundial en la actualidad) y, en Argentina, esa tendencia se sintió en la postergación de la decisión sobre la cuarta central nuclear definida en la Ley N° 26.566 de declaración de interés nacional de las actividades para la extensión de la vida de la Central Nuclear de Embalse.

Además de la Central Nuclear Néstor Kirchner, se encuentran los proyectos de Extensión de Vida de la Central Nuclear Embalse, el prototipo del reactor CAREM, el proyecto de enriquecimiento de uranio en Pilcaniyeu, el reactor multipropósito RA-10 y el Plan Nacional de Medicina Nuclear lanzado en el año 2014. A continuación se describirá la evolución de los principales proyectos de este período cuya continuación será la base para la proyección de los trabajos del período 2016-2025.

### 2.1.1 FINALIZACIÓN DE LA CN NÉSTOR KIRCHNER (ATUCHA II)

La Central Nuclear Atucha II comenzó siendo la primera de cuatro que se construirían para un ambicioso plan nuclear proyectado en el año 1977. En el año 1979 se llamó a una licitación internacional por la tercera central nuclear del tipo HWR (reactor a agua pesada) a través de un contrato abierto, a diferencia de los anteriores, llave en mano.

La empresa Siemens-KWU ganó la licitación enfatizando en

la transferencia de tecnología e ingeniería, contratos de diseño y tecnología de los combustibles, suministros y servicios y las garantías de la central. Para la realización del proyecto y del mencionado plan nuclear se creó una empresa mixta – ENACE S.A., propiedad 75% CNEA y 25% Siemens-KWU– que actuaría como arquitecto-ingeniero. Los contratos se firmaron en 1980 y un año después comenzó su construcción con el objetivo de producir electricidad en 1987.

Para 1984 ya se evidenciaban algunos efectos de las restricciones económicas para el financiamiento del proyecto. Aunque nunca fue oficialmente paralizada, para 1987 la construcción estaba detenida. En el año 1994, cuando se reorganiza el sector nuclear con el Decreto N° 1540, se constituye la empresa Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA) con el objetivo de privatizar las actividades de generación nucleoelectrónica, agregando como condición que el comprador debía finalizar Atucha II en un plazo de 6 años. La central había quedado paralizada con un avance físico del 80% en forma global. El avance en la obra civil llegaba al 90% y la adquisición de suministros pasaba el 95%, mientras que en prefabricados de tuberías el avance era del 60% y el montaje electromecánico era menor al 20%.

A principios de 2001 la CNEA elaboró una propuesta para la recuperación de un sector desguazado en los años anteriores, que incluía la finalización de la CNA-II como proyecto insignia. Sin embargo, las condiciones políticas y económicas no fueron las mejores y el proyecto se dejó de lado. Esta discusión se retomó en el año 2004, al año siguiente se crea la Unidad de Gestión Atucha II (dentro de NA-SA) con el objetivo de realizar todas las acciones para la finalización del proyecto. Las negociaciones, que incluían la renegociación de todos los contratos caídos y vencidos finaliza en el año 2006, y en agosto del mismo año se comienzan los trabajos para la finalización de la central.



Para el año 2011 se comienza con los trabajos de la puesta en marcha con la verificación independiente de los más de 500 sistemas que componen la central. Las pruebas continuaron avanzando y en julio de 2014 se realiza la primera criticidad (reacción en cadena controlada) del reactor. Las pruebas de potencia se realizaron escalonadamente desde esa fecha hasta el 18 de febrero de 2015 la ARN autorizó la operación al 100% de potencia.

Algunas cifras del proyecto de finalización de la CN-NK se muestran en la siguiente tabla.

Inversión total:	18.800 millones de pesos (90% en \$)
Documentos de Ingeniería:	130.000
Contratos y Órdenes de Compra:	15.000
Obras Civiles:	32.000 m <sup>3</sup> hormigón
Equipos:	36.000 toneladas
Cañerías:	4.000 toneladas, 33.000 isométricos, 16.000 válvulas, 700.000 soldaduras
Electricidad e Instrumentación:	3.000 km de cables, 1 millón de puntos de conexión, 1.600 tableros, 12.000 instrumentos 2,2 millones de horas hombre de ingeniería (95% nacional)
Construcción y Montaje:	42 millones de horas hombre
Puesta en Marcha:	500 sistemas, 1.300 zonas de pruebas de presión, 18.000 tareas Mecánicas, 12.500 tareas Eléctricas, 33.000 tareas de I&C

### 2.1.2 PROYECTO DE EXTENSIÓN DE VIDA DE LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE

El PEV de Embalse comenzó en el año 2005 mediante el entrenamiento de personal de la central en las metodologías de evaluación de estado de los componentes, a través de acuerdos de cooperación técnica con la empresa canadiense AECL. En 2006 el proyecto estaba en fase de estudio y se decidió que este proyecto tendría su fase de parada una vez finalizada la CN-NK. Este plan se formalizó con la Ley N° 26.566 donde expresamente se menciona al proyecto y se encomienda a NA-SA la materialización de los objetivos.

La inversión total del proyecto fue estimada inicialmente en USD 1.300 millones, en su mayoría aportados por el tesoro nacional, pero dentro de los cuales se destacan USD 240 millones aportados por la Corporación Andina de Fomento (CAF), en los últimos tiempos con la extensión de los plazos debido en parte a la extensión en la finalización de la CN-NK, el presupuesto del proyecto escaló hasta los USD 3.000 millones.

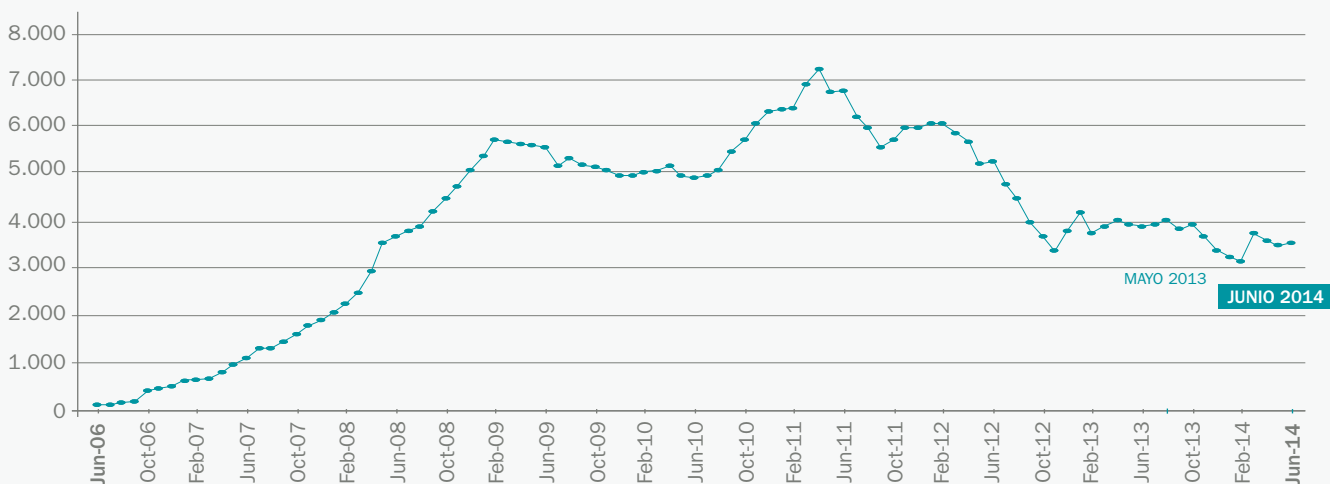
Los objetivos del PEV son tres; el primero es el reemplazo de componentes que llegaron al fin de su vida útil como los internos del reactor y los generadores de vapor, el segundo es la repotenciación de la central y el tercero, es la actualización de las instalaciones y sistemas de control de acuerdo a nuevos estándares y requerimientos regulatorios.

Los lineamientos generales bajo los cuales se lleva adelante el proyecto son el Gerenciamiento Integral bajo responsabilidad de NASA. También se contempla la participación de los diseñadores de la isla nuclear (AECL) y convencional (ANSALDO). Por último, el desarrollo y calificación de proveedores nacionales es un pilar importante teniendo en cuenta que la cuarta central nuclear será del mismo tipo esta.

Por otra parte, el siguiente gráfico ilustra la cantidad de personal que participó en la finalización de la construcción desde el reinicio de la obra hasta junio de 2014, al mes siguiente, comenzaron las pruebas operacionales finalizando en febrero de 2015.

El proyecto consta de tres fases. La primera, realizada desde el año 2005 al año 2009, es la fase de evaluación y preparación. Consiste en examinar el estado de los principales componentes, estructuras y sistemas de planta y sus eva-

PERSONAL EN FUERZA DESDE REINICIO DE OBRA





luaciones de seguridad. Al mismo tiempo se evalúa su envejecimiento y los cambios de diseño que tuvieron durante el período de operación y se realizan pronósticos de vida de los componentes para un nuevo ciclo operativo que además enfrentan nuevos requerimientos regulatorios. Estos estudios establecen el alcance de las tareas de las otras fases y se determina si los equipos deben ser reemplazados o reparados.

En la segunda fase, ejecutada desde el año 2009 y continúa hasta el presente, comprende la ejecución de la ingeniería básica y de detalle relacionada con los cambios y modificaciones a efectuar y se realiza todo el trabajo de compra y procura de los equipos y materiales necesarios. Para llevar adelante esta parte del proyecto, Nucleoeléctrica firmó siete contratos con AECL por USD 440 millones que cubren la asistencia técnica durante el proyecto, la provisión de herramientas, documentos, procedimientos y servicios relacionados con el re-entubado del reactor, los servicios de ingeniería durante el proceso de fabricación de los internos del reactor, la provisión de equipos, asistencia técnica para el montaje y puesta en marcha para las computadoras de control, y asistencia técnica para los cambios de diseño relacionados con los estudios de seguridad y aumento de potencia, contemplando la provisión de suministros relacionados.

Dentro de esta fase se contempló el cambio de los principales componentes, donde se encuentran los tubos de presión, entre otros componentes del núcleo, y los generadores de vapor. Todos estos componentes se decidieron realizar en el país, por lo que diversas empresas tuvieron que iniciar largos procesos de calificación ante las normas norteamericanas (ASME III) y canadienses (CSA N285.0).

Tanto CONUAR como IMPSA llevan adelante la mayoría de estos trabajos, la primera realizó enormes esfuerzos para

poder ser uno de los principales proveedores del proyecto abarcando prácticamente todos los componentes internos del reactor; tubos de presión, de calandria, tapones de blindaje y de cierre, alimentadores, end-fittings y los tubos de los intercambiadores de presión. Para ello trabajó en conjunto con CNEA que le transfirió toda la tecnología de fabricación de los tubos de presión por laminación. Por su parte, IMPSA comenzó la fabricación de los intercambiadores de calor a finales del 2011 y espera finalizarlos a fines de este año.

Para realizar el almacenamiento de los equipos y componentes del reactor, herramientas de retubado, fabricación de alimentadores y entrenamiento del personal se realizaron 8.000 m<sup>2</sup> de instalaciones. Además se construyeron silos y contenedores para el almacenamiento de residuos radiactivos de alta actividad que serán sacados de la central (los componentes en el reactor). También se realizaron instalaciones y contenedores para almacenamiento de residuos radiactivos de media y baja.

La tercera etapa, que comenzará en la segunda mitad de 2015, se inicia con la salida de servicio de la central. Una vez parada la planta se realizará la descarga núcleo junto con el drenaje y secado del agua pesada del sistema primario y del moderador. Se realizará la remoción, corte y almacenaje de los internos del reactor y las inspecciones en la calandria. También en esta etapa se realizará el cambio de los generadores de vapor, las mejoras en las computadoras de control, un nuevo sistema simulador full scope (réplica de la sala de control), la modernización y optimización del turbo grupo y ciclo térmico con el consecuente aumento de potencia estimado para la central. Todas estas tareas en principio demandarán 20 meses. Para poder mantener ese plazo, se viene trabajando con la incorporación de más de 600 personas en Embalse, con nuevas instalaciones para el



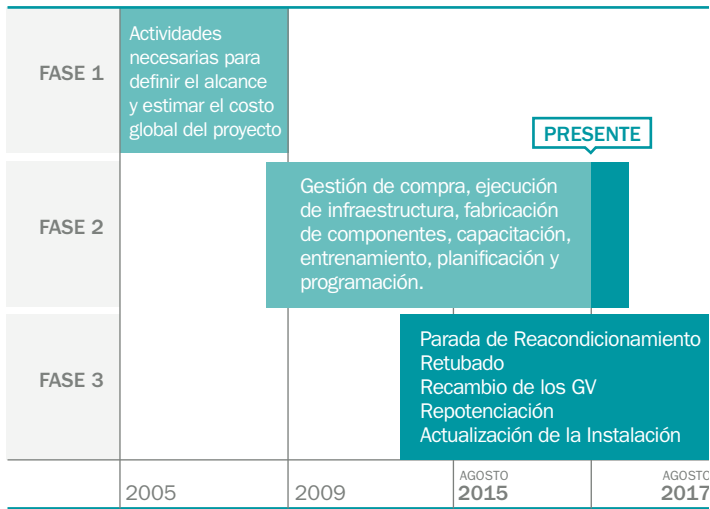
FAE: Tubos de los GV's



IMPSA: Generador de Vapor



entrenamiento y capacitación del personal. El esquema de las tres fases se presenta a continuación.



Se espera que la CNE entre de nuevo en operación en el año 2018.

### 2.1.3 PROTOTIPO DE CN CAREM 25

La sanción de la Ley N° 26.566 en el año 2009 termina de conformar un marco apropiado para la ejecución del proyecto. Dicha ley da régimen especial y una serie de beneficios para la ejecución y gestión de los proyectos de extensión de vida de la central nuclear Embalse, la cuarta y quinta central y el CAREM. Este marco normativo le permite a CNEA conformar un fideicomiso de administración de la obra y un nuevo régimen de contrataciones, de manera de poder disponer y utilizar los fondos asignados al proyecto de una manera más ágil.

El sitio elegido para la construcción de la central es el predio de la vieja Planta Experimental de Agua Pesada (PEAP), vecino a la Central Nuclear Atucha I. En noviembre de 2010 CNEA realiza la primera entrega de documentación exigida por la ARN. A fines de 2013 la ARN entregó las autorizaciones de práctica no rutinaria y para la utilización del sitio y construcción del prototipo del reactor CAREM-25. Por el

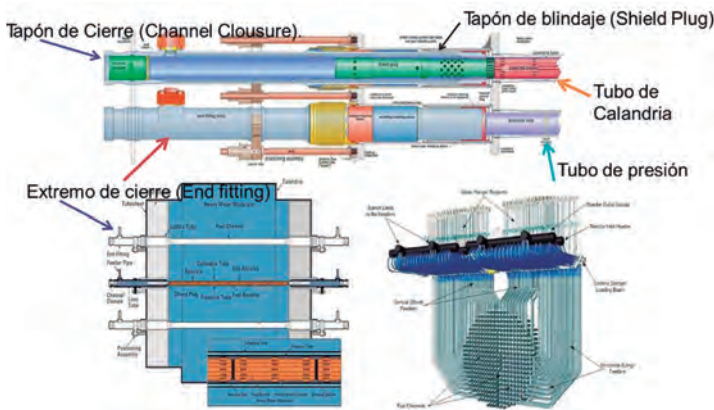
mismo tiempo, el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la provincia de Buenos Aires le entregó a CNEA el certificado de aptitud ambiental, necesaria también para dar el comienzo formal a las obras. Con estos dos permisos, el 8 de febrero de 2014 se dio inicio formal a la construcción del edificio del reactor. Este hecho marca un hito importante en el desarrollo de una central nuclear, donde formalmente sale del papel y comienza a ser una realidad. En la figura siguiente se observa el sitio Atucha con las centrales Presidente Perón, Néstor Kirchner y el lay out del CAREM.

Considerando el carácter de “prototipo” del reactor, la ARN desarrolló y aprobó un nuevo esquema de licenciamiento de a pasos emitiendo autorizaciones específicas para cada etapa del proceso (Construcción, Carga de Combustible, Ensayos con el Núcleo Subcrítico, Puesta a Crítico, Ensayos a Potencia Cero, Incrementar Potencia, Ensayos a Potencia y otras, hasta llegar a la Licencia de Operación), así se busca garantizar la seguridad de las prácticas, pero al mismo tiempo dejar abierta la posibilidad de cambios en el diseño a medida que se avanza con el proyecto y la posibilidad de realizar pruebas sobre el prototipo.

El recipiente de presión se licitó durante el año 2013. Hubo dos empresas que participaron, IMPSA y Astra Evangelista SA (AESA) siendo la primera la adjudicataria del trabajo. Durante el año 2104 se aprobaron las especificaciones técnicas de los forjados principales que se comprarán a la empresa italiana Forge Monchieri. Los generadores de vapor, integrados en el recipiente de presión, serán realizados por la empresa CONUAR.

Durante el 2014 se realizó la licitación de la parte convencional de la planta. Dicha licitación, realizada bajo la modalidad de llave en mano comprende el diseño, ingeniería, fabricación, suministro, transporte, construcción, montaje, puesta en marcha y ensayos hasta la habilitación comercial, de todas las instalaciones, equipos y sistemas que conforman el balance de planta, incluyendo la planta de agua desmineralizada y las calderas auxiliares.

Se presentaron siete ofertas técnicas de distintas empresas





y consorcios, todas son argentinas, algunas con socios internacionales. Las empresas que se presentaron son TECNA, IECSA, el consorcio ROGGIO-SADE-SENER, CONUAR, HELPORT, ELECTROINGENIERIA y el consorcio IMPSA-AESA. De acuerdo a los cronogramas establecidos del proyecto, la apertura de las ofertas económicas y la posterior evaluación y adjudicación se estarían realizando en septiembre de 2015.

Se estima que la primera criticidad ocurrirá a fines de 2018. El camino crítico que asegura estas fechas pasa por la definición de las ingenierías de detalle de los sistemas principales, las fundaciones de los equipos, el contrato de compra y montaje electromecánico, el montaje y pruebas de los sistemas de control y las tareas de puesta en marcha.

#### 2.1.4 EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE URANIO

Como se mencionó en el punto anterior, existen dos proyectos principales para la reactivación de la producción de uranio; Cerro Solo y Sierra Pintada. El primero es un yacimiento que todavía se encuentra en estudio, en un estado avanzado de exploración y cuantificación de sus reservas. Ubicado en la región central de la provincia de Chubut (Figura 9), fue el proyecto exploratorio que más se avanzó en estos años por parte de CNEA y de privados.

Conocido desde 1990, a partir del año 2007 CNEA desarrolló un programa para completar un estudio de viabilidad del yacimiento Cerro Solo, incluyendo la exploración y evaluación de las áreas circundantes. Estos estudios presentan una prefactibilidad de explotación del depósito de U-Mo.

En la actualidad se trabaja para concretar las etapas para la definición de las características de la producción de concentrado de uranio a partir del procesamiento de mineral del Yacimiento Cerro Solo. Esto implica la realización de diversos estudios y ensayos para la selección final del procedimiento de explotación minera, el diseño de una planta piloto en las inmediaciones del yacimiento.

En la actualidad, aunque reconociendo que el panorama político-social es muy complejo, hay planes para reabrir la mina CNEA Sierra Pintada en Mendoza, que se cerró en 1997. También se conoce como Complejo Minero Fabril San Rafael. Las reservas de allí y en Cerro Solo totalizan poco más de 8.000 tU. La reanudación de la extracción de uranio era parte del plan de 2006, con el fin de hacer autosuficiente del país.

También se encuentran, con un menor grado de avance, actividades exploratorias en gran parte del país que se realizan en lugares donde no haya rechazo legal y social.



■ Figura 9: Mapa de propiedades mineras de la empresa U308 Corp. El yacimiento Cerro Solo se encuentra en el centro de la provincia.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> [http://www.u308corp.com/images/Projects/Argentina/Main%20Page%20Arg/Chubut%20Province/ChubutArea\\_PropertiesLg.gif](http://www.u308corp.com/images/Projects/Argentina/Main%20Page%20Arg/Chubut%20Province/ChubutArea_PropertiesLg.gif)

### 2.1.5 PROGRAMA DE RESTITUCIÓN AMBIENTAL DE LA MINERÍA DEL URANIO (PRAMU)

Restitución del sitio Malargüe. El sitio está ubicado en el límite norte de la ciudad de Malargüe (a unos 270 Km. al sur de la ciudad de Mendoza). Se ha preparado y aprobado por la autoridad provincial y nacional (ARN) un EIA y un plan de ingeniería de detalle. El proyecto financiaría la implementación de los trabajos de remediación y restitución (áreas verdes), incluyendo la relocalización de 710.000 toneladas de suelos y colas de mineral, para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, polvos y disminuir la radiación y las emanaciones de radón; incluyendo los costos de supervisión y monitoreo.

### 2.1.6 ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

En el año 2008 se comenzaron los trabajos para la recuperación de las instalaciones del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, con el objetivo de mantener la tecnología y eventualmente pasar a una etapa de producción. Aprovechando un contexto mundial favorable, el país lleva adelante esta línea de desarrollo –en un marco de usos pacíficos– con el objetivo de poseer el dominio de la tecnología para cuando se construyan nuevas centrales de uranio enriquecido, de manera de fabricar localmente la materia prima para los combustibles nucleares. En el año 2014 se puso en marcha el mock-up del CTP asegurando la tecnología por difusión gaseosa.

Cuenta con una superficie cubierta de 30.000 m<sup>2</sup> dedicados a las Plantas de Procesos donde se encuentran las instalaciones de enriquecimiento de uranio.

Se incrementó el plantel de personal afectado a las tareas de enriquecimiento de uranio de un número inicial de 10 personas, en 2003, hasta la cantidad actual de 120. Además, se han dedicado importantes esfuerzos en la transmisión del conocimiento intergeneracional, mediante el dictado de cursos de entrenamiento y capacitación se ha dedicado más de 20.000 horas hombre a la realización de cursos y prácticas.

También se desarrolló una política ambiental destinada a mejorar las condiciones de trabajo y adecuarse a las normativas vigentes a escala nacional y provincial, modernizando los sistemas de recolección y tratamiento de residuos, tanto industriales como domiciliarios. Se realizaron diversas auditorías ambientales del sitio a fin de establecer la situación de partida para esta nueva etapa de las actividades y se llevaron adelante las tareas necesarias para cumplimentar los aspectos regulatorios compatibles con las actividades desarrolladas, tanto a nivel nacional como internacional.

Paralelamente, se están llevando adelante investigaciones en otros métodos de separación isotópica como ultracentrifugación y láser. Estos métodos son considerados más económicos en cuanto a su operación, lo que redundaría en combustibles más económicos para las centrales nucleares. Con las tres líneas en estado avanzado de desarrollo se realizarán evaluaciones técnicas, económicas y políticas para establecer cuál será la línea más adecuada para el desarrollo nuclear de Argentina.

Es por ello que este proceso se efectúa mediante lo que conoce como una cascada de enriquecimiento, que consta de cientos de unidades de difusión llamadas difusores uno a continuación de otro y de tamaños acordes con la capacidad volumétrica de producción requerida. El material que se está enriqueciendo circula hacia adelante (avance), y el material que está siendo empobrecido circula hacia atrás (retroceso). En este caso se busca alcanzar un enriquecimiento de 0.85 % en U235, material que es usado en la actualidad en la operación de la Central Nuclear Atucha I.

En esta etapa del proyecto serán un total de 20 difusores, que se encuentran instalados en la Instalación conocida como Mock Up del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, que cuenta en forma autónoma con todos los servicios y capacidades para hacer esta operación, dado que fue diseñada para la realización de este tipo de pruebas de funcionamiento y permite introducir los cambios requeridos a fin de ensayarlos para luego ser introducidos en la planta industrial ubicada en este mismo complejo.



■ Figura 10: Trabajos de restitución del sitio PRAMU - Malargüe



■ Figura 11: Maqueta electrónica del parqueizado que se realizará sobre el encapsulado en Malargüe.



## 2.1.7 REACTOR MULTIPROPÓSITO RA-10

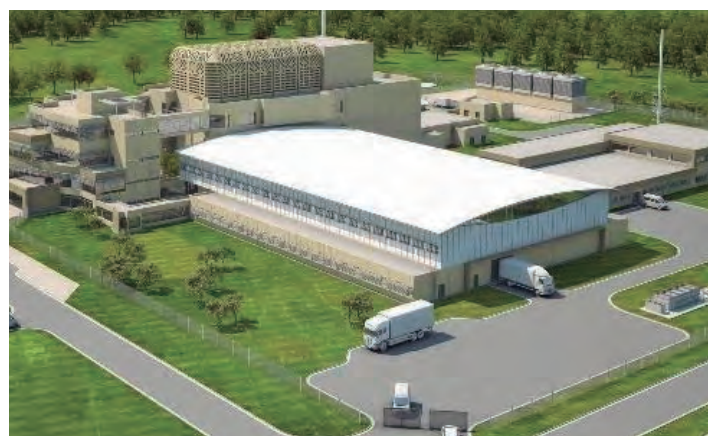
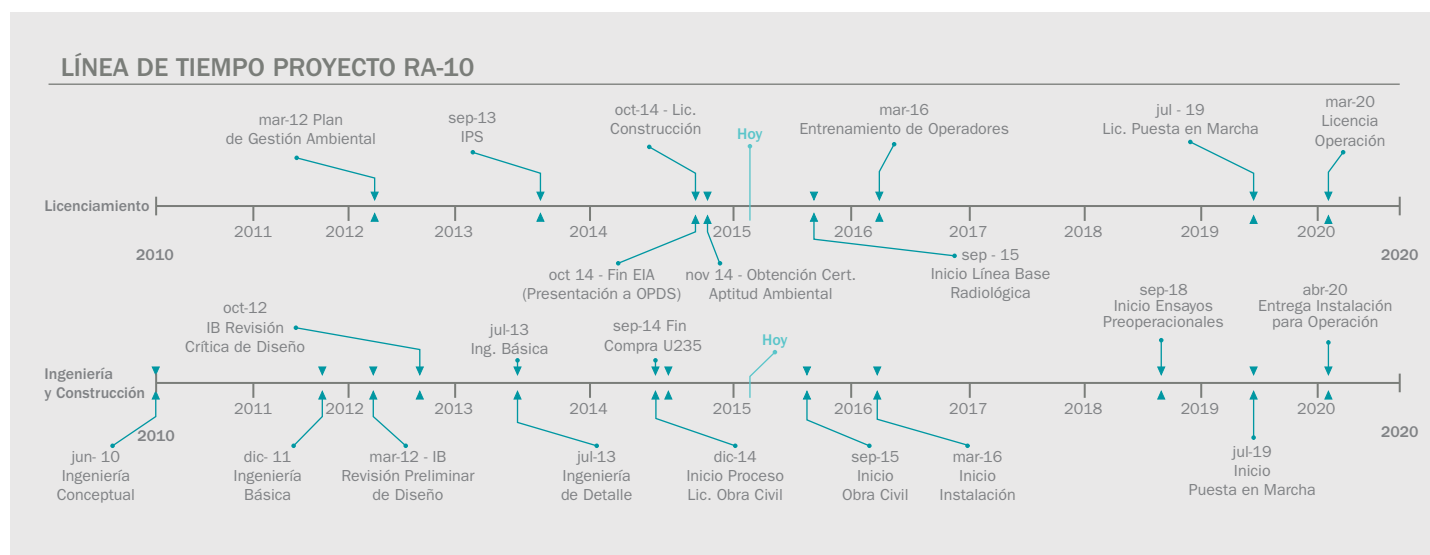
CNEA lleva adelante desde 2010 un Proyecto que comprende el diseño, la construcción y puesta en marcha de un reactor nuclear Argentino multipropósito, el RA-10. El proyecto tiene como referencia inmediata el Proyecto OPAL, el moderno reactor de producción de radioisótopos, que nuestro país construyó para Australia. En total, Argentina desarrolló y construyó doce reactores de investigación (cuatro de ellos se exportaron), lo cual le permitió al sector nuclear ganar reconocimiento internacional en este campo de la tecnología de punta.

Este proyecto permitirá asegurar el autoabastecimiento de radioisótopos para el país, expandiendo, al mismo tiempo, las capacidades de producción de los mismos. Así, se busca convertir al país en un actor clave a nivel internacional en la provisión de insumos estratégicos para la ciencia médica, potenciará el desarrollo científico e industrial del país y contribuirá a mejorar la calidad de vida de las personas.

El Proyecto RA-10 se lleva adelante como parte de una iniciativa conjunta con Brasil llamado RMB, que consiste en la construcción de sendos reactores con características similares en cada país. Cuando estén operando las nuevas instalaciones permitirán la creación de un polo capaz de asegurar el 100% del abastecimiento de América Latina en materia de radioisótopos.

El proyecto se realizará en el Centro Atómico Ezeiza, lugar donde está emplazado el RA-3, instalación que actualmente es la que produce los radioisótopos. En la siguiente figura se observa una maqueta electrónica del mismo y en las tablas siguientes algunos datos sobre la instalación.

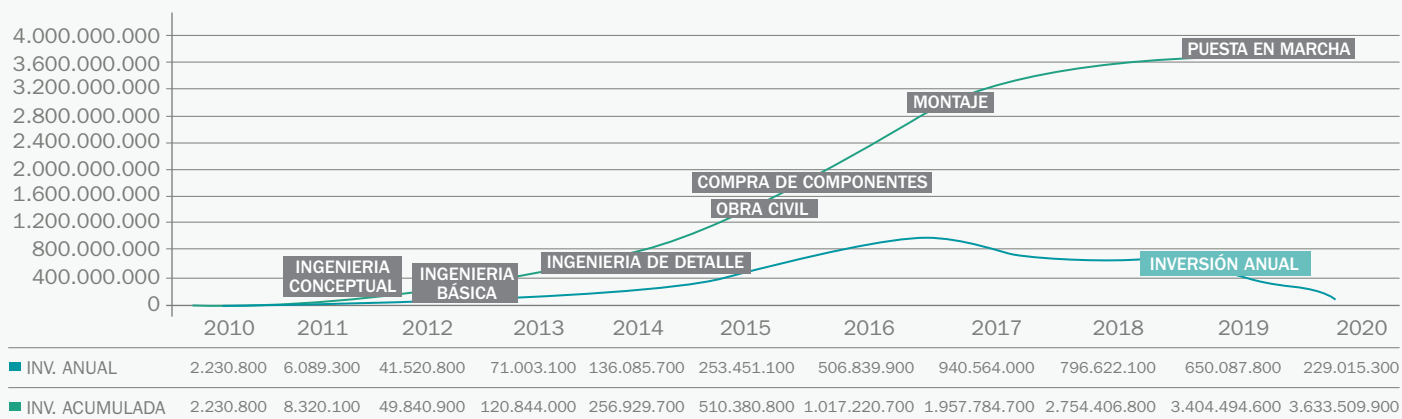
El costo total del proyecto ha sido estimado en MMUSD 400 (MM\$ 3.200) que provendrán de inversión pública ejecutada a través de un BAPIN. Hasta el momento ya se ejecutó un 15% del proyecto y la inversión realizada alcanza los MM\$ 275, en su mayoría en ingenierías y licenciamiento. A finales



### INSTALACIÓN MULTIPROPÓSITO RA-10

Potencia	30MW
Ciclo de operación	Continuo de 26 días
Producción semanal de Molibdeno-99	>2000 Ci/W*
Pileta	Abierta
Combustible	De bajo enriquecimiento, tipo placa
Reflector	D <sub>2</sub> O – Agua pesada
Moderador	Refrigerante H <sub>2</sub> O
Dirección del caudal	En el núcleo ascendente
Sistemas de parada	2. Diversos e independientes

Sitio de emplazamiento	Centro Atómico Ezeiza
Área de implantación	3,85 Ha
Superficie total a construir en planta	7632 m <sup>2</sup>
Superficie total cubierta	17723,52 m <sup>2</sup> / entreniveles -8,5m +26,5m

**CURVA DE INVERSIÓN**


del año pasado se realizó la licitación pública para la obra civil del reactor por un monto de MM\$ 930. Se presentaron cuatro oferentes: PETERSEN, THIELE Y CRUZ, IECSA, CAPUTO y HENISA SUDAMERICANA, se espera que la licitación adjudique y que las obras comiencen a finales de 2015.

Paralelamente se trabaja en la fabricación de los combustibles, el equipamiento y los proyectos relacionados para una nueva planta de producción de radioisótopos de fisión, una planta industrial de elementos combustibles de reactores de investigación, un laboratorio de haces de neutrones y un programa de ensayos post irradiación.

De acuerdo al cronograma adjunto se espera que a fines de 2018 se finalice la construcción y se comiencen con los ensayos preoperacionales. Se espera tener la instalación operativa en el año 2020.

### 2.1.8 PLAN NACIONAL DE MEDICINA NUCLEAR

El Plan Nacional de Medicina Nuclear es una iniciativa que lleva adelante el Ministerio de Planificación en conjunto con el Ministerio de Salud, en el marco de las acciones del Plan Cibersalud.

Tiene por objetivo la consolidación de una red federal de centros de medicina nuclear. Las inversiones del plan consisten en la remodelación y actualización de instituciones médicas especializadas y la construcción de CMN distribuidos en todo el país. Estos CMN, nuevos y remodelados contarán con instalaciones y equipamiento de alta tecnología, entre los que se encuentran ciclotrones para la fabricación de radioisótopos, laboratorios para la producción de radiofármacos y el equipamiento necesario para el diagnóstico y tratamiento. Entre los últimos se destacan el centro de protonterapia que será instalado en el Hospital Roffo, el primero de América Latina y el segundo del Hemisferio Sur.

Los Centros de Medicina Nuclear ya operativos que serán actualizados y remodelados son la Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Provincia de Mendoza, el Instituto A. H. Roffo de la Universidad de Buenos Aires, el Centro de Medicina Nuclear del Hospital de Clínicas, el Centro Atómico Ezeiza de la CNEA y la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear (FCDN) de la CNEA.

Los centros proyectados en la primera etapa son una sede

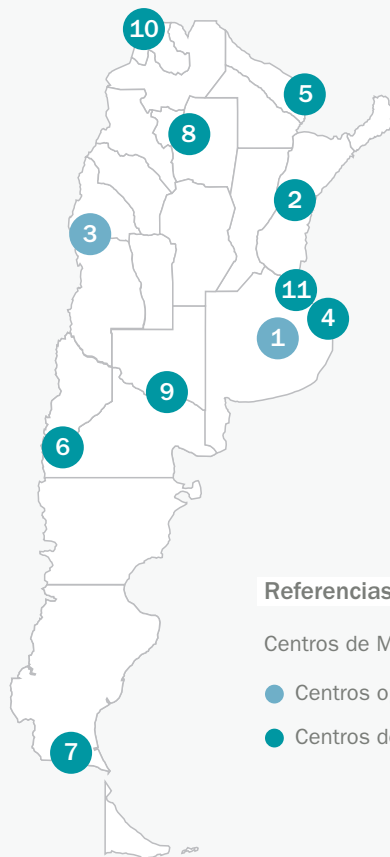
PROVINCIA	POBLACIÓN ACTUAL	PET ACTUALES	PET/MILLON DE HAB. 2012	PET ETAPA I	PET/MILLON DE HAB. ETAPA I	PET ETAPA II	PET/MILLON DE HAB. ETAPA II	TOTAL PET PLAN NACIONAL
CABA + Buenos Aires	18.485.510	18	0,97	2	1,08	0	1,08	20
Pampeana	8.058.801	4	0,50	1	0,62	3	0,99	8
Cuyo	2.853.625	1	0,35	1	0,70	1	1,05	3
Nordeste	3.672.528	0	0,00	1	0,27	3	1,09	4
Noroeste	4.931.795	0	0,00	2	0,41	3	1,01	5
Patagonia	2.089.100	0	0,00	3	1,44	2	2,39	5
<b>TOTAL</b>	<b>40.091.359</b>	<b>23</b>	<b>0,57</b>	<b>10</b>	<b>0,82</b>	<b>12</b>	<b>1,12</b>	<b>45</b>

de la FCDN que funcionará en la Academia Nacional de Medicina en la Ciudad de Buenos Aires, el Centro de Medicina Nuclear en Formosa, que tiene un grado de avance de obra del 80%, el Centro de Medicina Nuclear en Santiago del Estero que se encuentra en pleno proceso licitatorio, el Centro de Medicina Nuclear y Molecular – Oro Verde en Entre Ríos,

el Centro de Protonterapia / Polo Oncológico Nacional en la CABA, el Centro de Medicina Nuclear en La Pampa, el Centro de Medicina Nuclear y Radioterapia de San Carlos de Bariloche en Río Negro que atenderá a la Patagonia Norte y el Centro de Medicina Nuclear de Río Gallegos en Santa Cruz que atenderá a toda la Patagonia Sur.

## PLAN NACIONAL DE MEDICINA NUCLEAR

Tecnología e Infraestructura para la salud de todo el país



- 1 Instituto A. H. Roffo  
Centro de Medicina Nuclear (Hospital de clínicas)  
Fundación centro de diagnóstico nuclear (CABA)
- 2 Centro de medicina nuclear y molecular  
Oro verde, Entre Ríos
- 3 Fundación escuela de medicina nuclear  
Fuesmen, Mendoza
- 4 Centro de protonterapia  
Polo oncológico nacional CABA
- 5 Centro de medicina nuclear Formosa
- 6 Centro de medicina nuclear y radioterapia s.c  
de Bariloche, Río Negro
- 7 Centro de medicina nuclear,  
Río Gallegos, Santa Cruz
- 8 Centro de medicina nuclear, Santiago del  
Estero
- 9 Centro de medicina nuclear, La Pampa
- 10 Centro de medicina nuclear, Jujuy
- 11 Centro Universitario de imagenes medicas  
Unsam, Buenos Aires

### 2.1.9 INVERSIONES REALIZADAS EN EL PERÍODO

Durante el período 2006-2015 se invirtieron aproximadamente \$ 11.000 millones en CNEA y \$ 27.000 mil millones en NA-SA. El presente análisis presupuestario se realizó en base a las memorias y balances del período de la Comisión Nacional de Energía Atómica<sup>16</sup> y los presupuestos presentados al Congreso de la Nación todos los años, correspondientes a CNEA y a las empresas del Estado Nucleoeléctrica Argentina S.A. y Dixitek S.A.

En las Memorias y Balances de CNEA se encuentran los presupuestos asignados durante cada año a la Institución, por inciso y por programa presupuestario. Del análisis de los consolidados desde el año 2006, el presupuesto aumentó un 2000% en pesos corrientes en el crédito inicial. También se modificó fuertemente la estructura del crédito, ya que en el año 2006 el 65% del crédito estaba destinado a los gastos de personal, el 26% a gastos operativos y solamente el 6% a proyectos de inversión. Para el año 2015 el crédito

#### INVERSIÓN APROBADA

En millones de Pesos

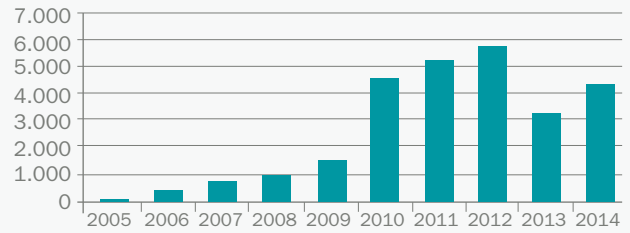


Figura 13: Inversión Inicial Aprobada en NA-SA. Oficina Nacional de Presupuesto

inicial se repartió en un 34% para gastos de personal, un 23% para gastos operativos y un 43% para proyectos de inversión. Estos proyectos de inversión exceden al marco del plan de obras de APE, aunque los proyectos estudiados que se encuentran bajo control de CNEA forman parte de estos.

El análisis de los presupuestos de NA-SA, como empresa no financiera del Estado, se realizó tomando en cuenta los presupuestos presentados en la página de la oficina nacional de presupuesto<sup>17</sup>, donde se tomaron en cuenta las inversiones en el balance de la empresa. Para este caso, las inversiones alcanzaron los \$ 27.000 millones. Claramente el principal proyecto fue la finalización de la Central Nuclear Néstor Kirchner, donde según el director del proyecto, José Luis Antúnez, se invirtieron \$ 18.800 millones a lo largo del período. El otro proyecto que se destaca es la Extensión de Vida de Embalse que de acuerdo a los presupuestos consolidados se realizaron inversiones por más de \$ 7.600 millones.

El resto de los actores del sector nuclear realizaron inversiones menores en equipamiento y actualización de sus instalaciones.

#### CRÉDITO INICIAL

En millones de Pesos

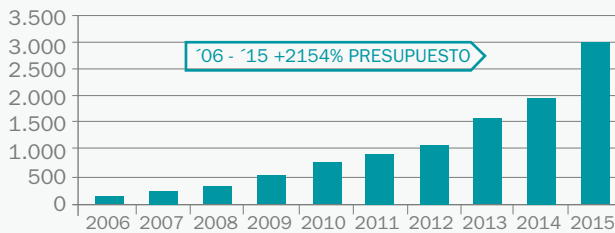


Figura 12: Crédito Inicial Asignado por la Ley de Presupuesto, CNEA.

<sup>17</sup> Accesibles en [www.cnea.gov.ar](http://www.cnea.gov.ar)



## 3

## PROYECCIÓN 2016-2025



El marco bajo el cual se plantea la proyección del sector nuclear para los próximos diez años es la continuidad de los proyectos existentes y los nuevos proyectos anunciados en los últimos años por el Estado Nacional. En este marco, resaltan las declaraciones realizadas por el ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios donde en los próximos diez años, es decir en coincidencia con el período 2016-2025, el sector prevé inversiones por 31.000 millones de dólares<sup>18</sup>.

El período 2016-2025 estará marcado por la continuidad de las políticas iniciadas en 2006, sino también por un gran impulso a través de obras que se presentan a continuación. Los ejes del sector nuclear argentino bajo el cual se integran las obras son dos; la generación de electricidad y el ciclo del combustible y las aplicaciones médicas de la tecnología nuclear.

El primer eje es el que más visibilidad tiene ante la sociedad por la envergadura de sus proyectos. El escenario planteado contempla la finalización de los proyectos existentes. Se estima que en el período de diez años comiencen y finalicen los proyectos de extensión de vida de la CN Presidente Perón (ex Atucha I), la cuarta central nuclear, la quinta central, el desarrollo del reactor CAREM en escala comercial y se prevé que se inicien los trabajos de la sexta central nuclear. Se espera que la sexta central nuclear comience a construirse durante el período, pero que su finalización exceda al mismo.

La concreción de estos proyectos llevaría a un incremento en la potencia nuclear instalada de 1750 a más de 3760 MW. Los proyectos de centrales nucleares traccionan el abastecimiento de combustible nuclear el llamado "ciclo de combustible nuclear", considerado un pilar de la política nuclear nacional. Dentro del área del ciclo de combustible nuclear se prevén realizar los proyectos que amplíen o incorporen capacidades a las industrias ya existentes.

En lo que respecta a la minería del uranio, en los próximos diez años se espera tener un mayor conocimiento sobre la geología argentina, incrementando recursos uraníferos. Se espera poner en producción el yacimiento Cerro Solo, en la provincia de Chubut y, si el marco político-social es favorable, reactivar el Complejo Minero Fabril de San Rafael, el Mendoza. La conversión de uranio, realizada actualmen-

te en el Complejo Fabril Córdoba, se realizará en la Nueva Planta de Uranio que se está construyendo en la provincia de Formosa, que reemplazará a la actual planta ubicada en la ciudad de Córdoba. En el marco del programa de restitución de la minería de uranio se espera avanzar en el cierre definitivo y posterior monitoreo ambiental de los sitios donde históricamente hubo producción.

Como la cuarta central será del mismo tipo que la CN Embalse, la empresa que fabrica los elementos combustibles solo deberá incrementar la producción de los mismos. Pero como la quinta central será una tecnología nueva para el país, se estima que se realizará una nueva planta para la fabricación de combustibles tipo PWR. Como estos combustibles utilizan uranio enriquecido, se prevé que en el país se construya una planta de enriquecimiento a partir de alguna de las líneas de investigación que se desarrollan en la actualidad.

En el otro campo de desarrollo se prevé que el país consolide su posición internacional como constructor de reactores de investigación y proveedor de radioisótopos a través de la concreción del proyecto RA-10, asegurando con obras complementarias el procesamiento de los radioisótopos obtenidos.

En el año 2014 se anunció el Plan Nacional de Medicina Nuclear con el objetivo de aumentar las herramientas de medicina nuclear para prevención, control y tratamiento de enfermedades crónicas no transmisibles. Este plan agrupa todos los esfuerzos realizados en el área y les provee una estructura de funcionamiento a los diversos centros de medicina nuclear bajo control estatal.

Bajo este plan se están realizando seis centros en diversos lugares del país (Paraná, Formosa, Santa Rosa, Rio Gallegos, Bariloche y Santiago del Estero). Dentro de las proyecciones del área, se incorporan 12 nuevos centros de diferente nivel de complejidad de manera de abarcar a prácticamente todas las provincias del país.

La concreción de este plan en sus múltiples dimensiones genera varios desafíos que exceden lo técnico, está claro. Por implicancias, tamaño y plazo de los proyectos, el desarrollo de estas actividades debe ser comprendido como una política de Estado tendiente a generar valor a través de la ciencia y la tecnología nuclear.

<sup>18</sup> <http://www.telam.com.ar/notas/201505/107016-plan-nuclear-argentino-inversiones-rusia-foro.html>

## 3.1 CONTINUIDAD A LOS PROYECTOS EXISTENTES

### 3.1.1 PEV EMBALSE

El proyecto de extensión de vida de la CN Embalse ya fue descrito en sus etapas en el punto 3.1.2. Como se mencionó previamente, se espera el comienzo de la tercera fase en

la segunda mitad del año 2015. Esta fase se extenderá por casi dos años para reiniciar su operación a fines de 2017 o principios de 2018.

Este proyecto se estima que terminará insumiendo USD 3.000 millones. De este monto, la mitad habrá sido realizada hasta el año 2015. El resto se realizará en los dos años restantes de la fase 3 del proyecto.

# FICHA DE OBRAS NUCLEARES PLAN DE INVERSIONES 2016 - 2025

<b>PROYECTO</b>	Proyecto de Extensión de Vida Central Nuclear Embalse
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Embalse, Rio Tercero, Provincia de Córdoba
<b>TIPO DE OBRA</b>	Central Nuclear – Generación Eléctrica
<b>PLAN</b>	PLAN ENERGETICO NACIONAL 2004-2019.

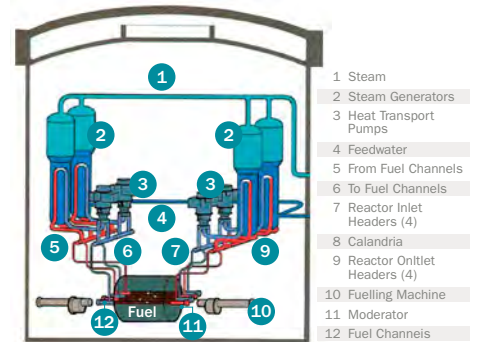
SITIO DE LA CN EMBALSE, SOBRE EL EMBALSE RIO TERCERO



VISTA AÉREA DE LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE



ESQUEMA DEL CIRCUITO PRIMARIO DE LA CNE, DE TIPO CANDU.



## PERFIL

### DESCRIPCIÓN - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - DIMENSIONAMIENTO

La CNE comenzó a construirse en el año 1974, comenzando su operación diez años después, en el año 1984. Es una central de diseño canadiense del tipo CANDU (uranio natural y agua pesada) en lugar de tener un recipiente de presión, los combustibles nucleares se alojan en 380 tubos de presión contenidos en un tanque llamado calandria. Aunque los trabajos de análisis de estado de la central comenzaron en el año 2005, fue durante el año 2009 que, a través de la Ley N° 26.566 se crearon los instrumentos específicos para materializar el proyecto.

El objetivo principal es extender la vida útil de la CNE por 30 años, adecuar la instalación a los nuevos requerimientos regulatorios e incrementar la potencia eléctrica en 35 MWe.

El proyecto se dividió en tres etapas:

La primera, consistía en todas las actividades necesarias para definir el alcance y estimar el costo global del reacondicionamiento de la instalación, realizada entre el año 2005 y 2009.

La segunda comprende la gestión de compra, ejecución de infraestructura, fabricación de componentes, capacitación, entrenamiento, planificación y programación de los trabajos, desde el año 2009 a la actualidad.

La tercera incluye la parada de reacondicionamiento que comprende el retubado del reactor, el reemplazo de los generadores de vapor, los trabajos de repotenciación y la actualización de la instalación.

Potencia Bruta de la Central	648 MWe
Potencia térmica del reactor	2015 MWt
Factor de planta	0,9
Duración Fase 3	3 años
Inversión en U\$S	3000 millones
Apertura de costos (estimada)	
Ingeniería + licenciamiento	33%
Contratos + Permisos	7%
Obra Civil	5%
Obra Mecánica	30%
Obra Eléctrica + IyC	25%

33

#### ■ JUSTIFICACIÓN EFECTOS ESPERADOS INTERÉS PARA LA POBLACIÓN BENEFICIARIOS

Con una potencia de neta de 600 MWe, la Central Nuclear Embalse fue la máquina unitaria en operación más grande hasta la entrada de la CN Néstor Kirchner. El principal aporte del proyecto es el energético. La central tiene capacidad para generar el 3,5% del total de energía requerida por el país. Además se desarrollaron proveedores de calidad como ser CONUAR e IMPSA. Además es uno de los principales proveedores del isótopo radiactivo Co-60, utilizado tanto para tratamientos medicinales como para gammagrafías industriales.

#### ■ PLAZO DE EJECUCIÓN / REALIZACIÓN

2005-2017

#### ■ COORDENADAS (x)

64° 26' 26'' Oeste

#### ■ COORDENADAS (y)

31° 13' 56'' Sur

### 3.1.2 CAREM-25

Con las obras iniciadas en febrero de 2014, actualmente un total de 240 obreros de la construcción se desempeñan en las tareas de inicio del proyecto. Sin embargo, se estima que se superarán las 700 personas empleadas en el pico máximo de la obra. Estas tareas las viene llevando adelante Nucleoeléctrica Argentina.

Por otra parte, se espera que a fines de septiembre se adjudique la parte convencional de la planta. Esta licitación, realizada bajo la modalidad llave en mano, comprende todo lo relacionado con las instalaciones de turbinas y equipos auxiliares. Este tra-

bajo, junto con la obra civil, son dos puntos fundamentales para el avance del proyecto. El montaje del recipiente de presión, hito del proyecto, se estima se realizará en octubre de 2017.

Como ya se mencionó, se estima que la obra continuará hasta principios de 2018, continuando luego con las pruebas de puesta en marcha y operación a fines del mismo año. El camino crítico que asegura estas fechas pasa por la definición de las ingenierías de detalle de los sistemas principales, las fundaciones de los equipos, el contrato de compra y montaje electromecánico, el montaje y pruebas de los sistemas de control y las tareas de puesta en marcha.

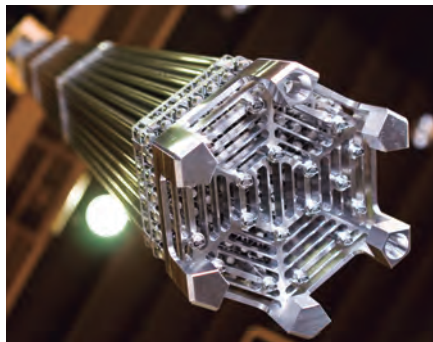
## FICHA DE OBRAS NUCLEARES PLAN DE INVERSIONES 2016 - 2025

<b>PROYECTO</b>	CAREM-25
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Lima, partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires
<b>TIPO DE OBRA</b>	Central Nuclear – Generación Eléctrica
<b>PLAN</b>	PLAN ENERGETICO NACIONAL 2004-2019.

MAQUETA ELECTRÓNICA DEL EACTOR EN EL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO



DETALLE ELEMENTO COMBUSTIBLE.



MAQUETA ELECTRÓNICA DEL REACTOR EN EL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO



## PERFIL

### DESCRIPCIÓN - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - DIMENSIONAMIENTO

El prototipo de la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM) de 25 MW se encuentra en ejecución en el sitio Atucha, al lado de la CN Presidente Perón.

Su característica principal es que contiene todo el circuito primario (intercambiadores de calor, presurizador) dentro del recipiente de presión y la circulación del mismo es mediante convección natural, por lo que no necesita de bombas. Esto lo convierte en un reactor más simple y estable en su operación y de mayor facilidad de mantenimiento.

Potencia Bruta de la Central	27 MWe
Potencia térmica del reactor	100 MWt
Factor de planta	0,9
Duración	4 años
Inversión en U\$S	500 millones
Integración nacional (localización)	70%
Apertura de costos (estimada)	
Ingeniería + licenciamiento	33%
Contratos + Permisos	18%
Obra Civil	22%
Obra Mecánica	15%
Obra Eléctrica + IyC	12%

**JUSTIFICACIÓN EFECTOS  
ESPERADOS INTERÉS PARA  
LA POBLACIÓN BENEFICIARIOS**

Capaz de abastecer una ciudad de 150.000 habitantes, el prototipo de la Central Nuclear CAREM-25 será la primera central de potencia diseñada íntegramente en el país.

El reactor CAREM se realiza como prueba del concepto de un reactor integrado, seguro, simple de construir, operar y mantener. Este proyecto se estima estará finalizado para el año 2018, momento a partir del cual se realizarán pruebas y se buscará el escalado a una central de mayor potencia (120 MW manteniendo el concepto de circulación natural en el circuito primario, hasta 300 MW forzando la circulación mediante bombeo)

**PLAZO DE  
EJECUCIÓN / REALIZACIÓN**

2014-2018.

**COORDENADAS (x)**

59°11'33" Oeste

**COORDENADAS (y)**

33°58'13" Sur



### 3.1.3 RA-10

El reactor RA-10 se encuentra en plena licitación de su obra civil y montaje mecánico. Se estima que dicha obra comience a fines de este año y que los trabajos electromecánicos lo hagan a principios del año que viene.

Se espera, de acuerdo al cronograma previamente visto, que las obras lleguen hasta fines de 2018, para dar lugar a los ensayos preoperacionales, la puesta en marcha y la operación a principios del año 2020.

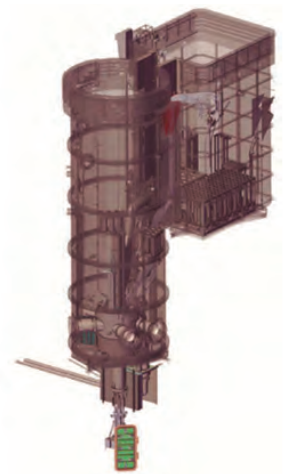
## FICHA DE OBRAS NUCLEARES PLAN DE INVERSIONES 2016 - 2025

<b>PROYECTO</b>	Reactor Argentino Multipropósito RA-10
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Centro Atómico Ezeiza, partido de Ezeiza, Provincia de Buenos Aires
<b>TIPO DE OBRA</b>	Reactor de Investigación y Producción de Radioisótopos.
<b>PLAN</b>	Plan Estratégico CNEA 2010-2019.

SITIO DE EMPLAZAMIENTO EN EL CENTRO ATÓMICO EZEIZA, EL LUGAR SELECCIONADO SE ENCUENTRA AL LADO DE LAS EMPRESAS CONUAR Y FAE.

MAQUETA ELECTRÓNICA DE LA SALA DE CONTROL DEL REACTOR.

DETALLE DE LA PILETA DEL REACTOR Y LA PILETA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES GASTADOS.



## PERFIL

### DESCRIPCIÓN - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - DIMENSIONAMIENTO

El reactor RA-10 tiene por objetivo el de servir de reemplazo del reactor RA-3, principal productor de radioisótopos en el país, que ya cuenta con más de cuarenta años de operación ininterrumpida. Además, se busca aprovechar las capacidades existentes en el país para el diseño y construcción de estos reactores. Argentina se ubica como uno de los principales proveedores a nivel mundial de este tipo de instalaciones, siendo el OPAL (reactor construido en Australia) uno de las más avanzados de este tipo que fue diseñado y construido por empresas del país.

Con este proyecto se busca incrementar la producción de radioisótopos para sostener la demanda futura a nivel local y regional, Consolidar las capacidades nacionales relacionadas con la producción de combustible nuclear y Ofrecer al sistema científico y tecnológico nuevas capacidades basadas en técnicas neutrónicas. La instalación será multipropósito contando con producción de radioisótopos, materiales y combustibles, además de haces de neutrones para realización de investigación y ciencia y producción de silicio dopado.

Potencia del reactor	30 MWt
Tipo de reactor	Pileta Abierta
Combustible	Tipo placa de bajo enriquecimiento 19,97%
Reflector	Agua Pesada
Moderador y Refrigerante	Agua liviana
Inversión (millones de \$)	3.200
Apertura de costos	
Infraestructura	40%
Equipamiento	60%

#### ■ JUSTIFICACIÓN EFECTOS ESPERADOS INTERÉS PARA LA POBLACIÓN BENEFICIARIOS

Se espera que el reactor cubra las demandas de Mo-99, junto con nuevos radioisótopos a desarrollar por los próximos 50 años.

Nuevas capacidades para investigación y desarrollo también se cubren con la nueva instalación, lo que permitirá encarar nuevas aplicaciones en el campo de la tecnología nuclear.

En conjunto con Brasil, se está desarrollando el mismo reactor, de manera que se utilicen de back-up en conjunto.

#### ■ PLAZO DE EJECUCIÓN / REALIZACIÓN

2014-2020.

#### ■ COORDENADAS (x)

58° 33' 48'' Oeste

#### ■ COORDENADAS (y)

34° 49' 50'' Sur

### 3.1.4 PRAMU

El proyecto de restitución ambiental de la minería de uranio se encuentra en la etapa de finalización de la restitución del sitio Malargüe. El sitio está ubicado en el límite norte de la ciudad de Malargüe (a unos 270 Km. al sur de la ciudad de Mendoza). Se preparó y aprobó por la autoridad provincial y nacional (ARN) un Estudio de Impacto Ambiental y un plan de ingeniería de detalle. El proyecto incluyó la implementación de los trabajos de remediación y restitución (áreas verdes), incluyendo

la relocalización de 710.000 toneladas de suelos y colas de mineral, para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, polvos y disminuir la radiación y las emanaciones de radón; incluyendo los costos de supervisión y monitoreo.

Además, se está en proceso de preparación y restitución de otros sitios. Además de Malargüe se ha inventariado otros siete sitios. El proyecto actual financia los estudios de preparación, fundamentalmente la EIA y la ingeniería de diseño, el establecimiento de un plan de control, monitoreo y procedi-

mientos de consulta en tres sitios prioritarios (Córdoba, Los Gigantes y Tonco) la implementación de los trabajos de remediación y las actividades de monitoreo de post remediación.

Uno de los objetivos del PRAMU es el Fortalecimiento Institucional Ambiental de CNEA; esto supone la consolidación del grupo técnico, que actualmente se encuentra desarrollando los trabajos vinculados al proyecto y del sector de la CNEA con responsabilidad ambiental. Esto incluye el fortalecimiento de la Unidad de Gestión Ambiental de CNEA (UGA)- organización, recursos financieros y metodología de trabajo y entrenamiento, el desarrollo de un Sistema de Información y de Gestión Ambiental (incluyendo un GIS) (SIGA), implementación, organización, dotación de personal, de recursos financieros y metodología de trabajo, modernización de las facilidades de trabajo y equipamiento y entrenamiento y el desarrollo e implementación de procedimientos de información y consulta pública sistematizados y mejorados, incluyendo entrenamiento y capacitación. Se espera con esto, transparentar las acciones en el ámbito nuclear y mostrar el grado de compromiso con el cuidado del ambiente que posee la actividad.

zando en el año 2020 la obra para continuar con el monitoreo pos cierre. Solapada en el último año, se espera realizar el mismo trabajo en el sitio Tonco (provincia de Salta) que demandará la mitad de la inversión en un plazo de tres años. Estos proyectos, al ser en su mayor parte el acondicionamiento de colas de mineral, tienen estimado un 90% de su costo que será para obras mientras que el 10% restante se aplica a la gestión del proyecto y al equipamiento.

A continuación de estos trabajos se previeron comenzar el trabajo en dos sitios más de los que quedan a remediar por parte del PRAMU que son Pichiñán (Pcia. del Chubut), La Estela (Pcia. de San Luis) y Los Colorados (Pcia. de La Rioja). Todos los sitios se pueden ver en el *mapa 1*.

### 3.1.5 EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE URANIO

En cuanto a la exploración y producción de uranio, el plan de obras APE 2016-2025 tiene en consideración la compleja tarea que es el desarrollo de la actividad minera en el país. Aun teniendo en cuenta esto, la propuesta incluye el desarrollo de los dos proyectos más importantes que tiene CNEA en este ámbito, considerando que es la única organización que está llevando adelante proyectos concretos, ya que las empresas privadas que tienen cateos de uranio solamente están llegando a mínimas tareas prospectivas.

Los proyectos considerados son la puesta en producción del yacimiento Cerro Solo en la provincia de Chubut y la reactivación del Complejo Minero Fabril San Rafael, en Mendoza. El primero se encuentra en su etapa final de exploración y comenzando los trabajos de diseño de la ingeniería de producción y los métodos que se utilizarán. Para su puesta en valor se prevé una inversión cercana a los USD 300 millones que se realizarán a partir del año 2017 por el lapso de 3 años.

En cuanto al CMFSR, si bien se toma en cuenta su situación en una provincia con una legislación que prohíbe su reactivación, se plantea un escenario donde puede revertirse esa situación. Si ello ocurriese, el complejo podría volver a funcionar con una inversión de USD 100 millones para la recuperación y actualización de las instalaciones. En base a la incertidumbre del escenario, su entrada en operación se pospuso hasta el año 2023, con la entrada en operación de la cuarta central nuclear.

### 3.1.6 CONVERSIÓN

Otro de las obras que está proyectada es la Nueva Planta de Uranio (NPU) de Dioxitek en la provincia de Formosa. Este proyecto, apurado por la clausura de la planta actual ubicada en la ciudad de Córdoba, está en pleno proceso de adjudicación de la obra, ya que posee los permisos ambientales para su instalación.

En abril pasado, el Concejo Deliberante de Córdoba aprobó un acuerdo entre la Municipalidad, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y Dioxitek S.A., para el traslado y reubicación de la planta que produce dióxido de uranio. Se acordó que hasta su traslado efectivo, la municipalidad permitirá el funcionamiento de la planta.

MAPA 1



Considerando que PRAMU Malargüe está en su etapa de finalización, el plan de obras 2016-2025 contempla todo el trabajo de remediación y posterior monitoreo de los sitios emplazados en la provincia de Córdoba (Córdoba y Los Gigantes) a partir del año 2016. Se estimaron estas obras en USD 50 millones, con un plazo estimado de 5 años, finali-





■ Figura 14: Maqueta digital de la NPU

El proyecto está estimado en USD 250 millones, tomando en consideración tanto la instalación de la NPU como el desmantelamiento de la actual instalación en Córdoba. Esto incluirá el diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de una planta industrial que contará con la tecnología más avanzada que existe actualmente para este tipo de instalaciones a nivel mundial. Se estima que el plazo de construcción será entre 2016 y 2017. La ubicación de la instalación será en el Polo Científico, Tecnológico y de Innovación de la provincia de Formosa, a unos 15 km al oeste de la ciudad de Formosa.

La nueva planta de Dioxitek tendrá capacidad para producir 460 toneladas de dióxido de uranio por año, lo que significa triplicar el actual nivel de producción con el que cuenta actualmente nuestro país. Para esto, contará con dos módulos de producción con una capacidad de procesamiento de 230 t/año cada uno. Inicialmente está previsto el montaje de un módulo, para alcanzar la plena capacidad de producción en un lapso de cinco años. El proyecto también contempla la ampliación de la capacidad productiva total ante futuras demandas locales y del exterior.



■ Figura 15: Render de la entrada de la NPU en el Polo Científico y Tecnológico de la Provincia de Formosa.

### 3.1.7 PRIMERA ETAPA DEL PNMM

El Plan Nacional de Medicina Nuclear está en pleno proceso de consolidación de su primera etapa. Ya se anunciaron y

## PROYECTO NPU02: INFRAESTRUCTURA

Superficie cubierta	16.600 m <sup>2</sup>
Superficie descubierta	6.000 m <sup>2</sup>
Circulación vehicular	6.000 m <sup>2</sup>
Arbolado	90.000 m <sup>2</sup>
Parquización	15.000 m <sup>2</sup>
Superficie libre	893.780 m <sup>2</sup>
<b>Superficie total del terreno</b>	<b>1.027.380 m<sup>2</sup> (102,74 ha)</b>

lanzaron todos los CMN planificados para la misma y el CMN ubicado en Paraná, Entre Ríos se encuentra próximo a operar.

La inversión total de esta primera fase será de AR\$ 4.300 millones y se destinarán a los Centros de Medicina Nuclear ya operativos como la Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Instituto A. H. Roffo de la Universidad de Buenos Aires, el Centro de Medicina Nuclear del Hospital de Clínicas, el Centro Atómico Ezeiza de la CNEA y la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear (FCDN) de la CNEA, como también a la ejecución de un centro de diagnóstico y tratamiento en cada región del país.

La FCDN realizará en la sede de la Academia Nacional de Medicina en la Ciudad de Buenos Aires una sede de la misma en la que se instalará un equipo PET-CT y que con un sostenido avance de obra evalúa abrirá sus puertas durante este año.

El Centro de Medicina Nuclear y Molecular – Oro Verde en Entre Ríos se encuentra prácticamente finalizado y se están realizando los acuerdos entre CNEA, y el IOSPER para la creación de la fundación que se encargará de la operación del mismo, de acuerdo al modelo escogido.

La inversión para este proyecto supera los 150 millones de pesos. La construcción del edificio que tendrá 3.500 metros cuadrados, en un lugar que permitirá realizar estudios de medicina nuclear, y contará además con una instancia de investigación y desarrollo sobre tratamientos oncológicos, cardiológicos y neuropsiquiátricos. Además habrá un único sector en planta alta donde se desarrollará el área dedicada a docencia e investigación.

El Centro de Medicina Nuclear en Formosa que atenderá a toda la población del NEA y al que seguramente también se acercarán los hermanos de la República del Paraguay, que tiene un grado de avance de obra del 80% y que abrirá sus puertas en Agosto de este año; el cual está próximo a inaugurarse en Octubre de este año;

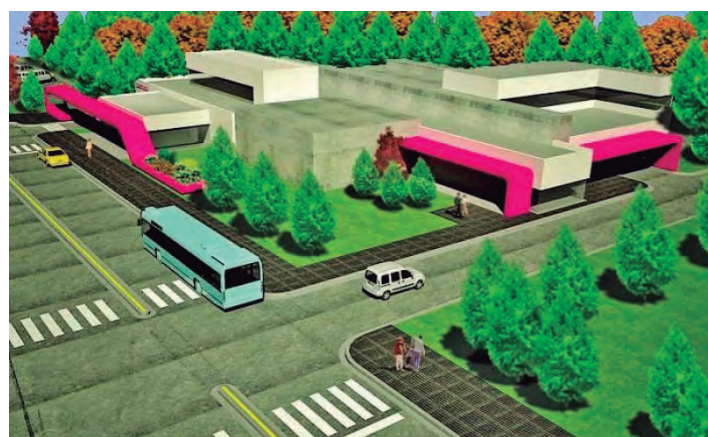
El Centro de Medicina Nuclear desarrollará sus funciones en el Hospital de Alta Complejidad (HAC) “Presidente Juan Domingo Perón” de la ciudad de Formosa, y trabajará en red

con todo el sistema público de salud formoseño. Por su parte, la CNEA -junto a sus Institutos y Centros Especializados en Medicina Nuclear- pondrá a disposición toda su experiencia en la capacitación de recursos humanos, así como sus conocimientos en técnicas de diagnóstico y tratamiento de distintas patologías. Además, brindará todos los avances en materia de investigación clínica, desarrollo de nuevos radiofármacos, protocolos, equipos, técnicas y métodos vinculados al campo de las aplicaciones de la energía nuclear con fines medicinales.

El Centro de Medicina Nuclear en Santiago del Estero que se encuentra en pleno proceso licitatorio y atenderá en la región del NOA. Por otra parte, también se está desarrollando el proyecto del Centro de Protonterapia / Polo Oncológico Nacional en la CABA con una inversión de AR\$ 930 millones. En La Pampa, aprobada en la legislatura provincial correspondiente la cesión de su terreno y atenderá a la región Centro del país.

El Centro de Medicina Nuclear y Radioterapia de San Carlos de Bariloche en Río Negro que atenderá a la Patagonia Norte y prevé inaugurarse en dos partes, una en Octubre y otra en Diciembre de 2015 y que tiene un grado de avance de obra del 80%. El Centro de Medicina Nuclear de Río Gallegos en Santa Cruz que atenderá a toda la Patagonia Sur y seguramente también a la población chilena de Punta Arenas, abriendo sus instalaciones en Octubre del corriente año.

Además, cada uno de estos Centros de Medicina Nuclear contará con equipos de trabajo de 25/30 personas garantizando una fuente laboral genuina para cientos de profesionales: médicos, médicos nucleares, físicos, médicos físicos, ingenieros, ingenieros nucleares, bioingenieros, químicos, radio químicos, farmacéuticos, radio farmaceutas, bioquímicos, biólogos, biólogos moleculares, científicos computacionales, biólogos computacionales, entre otras profesiones.



■ Figura 16: Render del Centro de Medicina Nuclear de Santa Rosa

Las inversiones que se estiman para esta primera etapa están en el orden de los USD 800 millones, a distribuirse en todos los centros en infraestructura y equipamiento. Cada centro tiene un alcance distinto, ya sea en infraestructura o equipos con los que trabajará, pero en términos generales,

las obras contemplan un 40% de infraestructura y un 60% de equipamiento. El desarrollo de esta primera etapa se estima se realizará hasta el año 2019.

Para la expansión de los próximos 10 años, se plantea un escenario de tres nuevas etapas del PNMN. En cada una de estas etapas, se realizarán cuatro centros en distintos lugares del país, hasta alcanzar a las 20 principales ciudades del país. Cada una de las etapas se estima durará tres años, con un costo aproximado por centro de USD 100 millones.

### 3.1.8 PEV ATUCHA I

Una vez finalizado el PEV de la CN Embalse, está proyectada la realización del PEV de la CN Atucha I. Así como el primer proyecto de extensión de vida, este también contempla tres etapas, la primera de evaluación y alcance (actualmente en ejecución), la segunda de preparación de los trabajos y compra de equipamientos y la tercera etapa, de salida de servicio para recambio de componentes.

Este proyecto tiene un alcance menor que el de la CNE debido a la tecnología, la central Atucha I tiene un recipiente de presión, el lugar de tubos de presión como la CNE. El recambio de los internos del reactor es más sencillo que el recambio de los tubos. Por otra parte, desde los años '90 que se hizo el recambio de algunos componentes de la central. Algunas mejoras ya fueron realizadas, como el edificio de motores diésel montado entre 2010-2014.

El monto asignado a este proyecto es de USD 1500 millones y su ejecución se prevé comenzará en 2017, con el comienzo de adquisición de materiales y componentes, para que la central salga fuera de servicio entre 2019 y 2020, para volver a entrar en operación en el 2021.

## 3.2 NUEVOS PROYECTOS

### 3.2.1 CUARTA CENTRAL NUCLEAR

La cuarta central nuclear es un proyecto del cual comenzó a gestarse por el año 2010, cuando se avizoraba la finalización de la CN-NK. Inicialmente se dejó sin definición el tipo de tecnología, realizando acuerdos marco entre países proveedores para realizar análisis y consultas comparativas de las diferentes tecnologías a nivel mundial. La estrategia lógica para nuestro país era continuar con el ciclo de combustible de uranio natural y agua pesada antes de pasar a una nueva tecnología. Además NA-SA es propietaria de la tecnología que se opera en Argentina desde 1982. El problema de la estrategia es que el único proveedor actual de este tipo de centrales son los canadienses.

Por aquella época, la licenciataria de los reactores era AECL (AtomicEnergy of Canada Limited), una corporación estatal canadiense, que el Estado había puesto en venta. Esto provocó

demoras en las negociaciones entre Argentina y AECL. En el año 2011, AECL licenció la tecnología CANDU a SNC-Lavalin. Uno de los principales puntos requeridos en Argentina para la construcción de un reactor es el financiamiento por parte del vendedor, y en este caso, al ser una empresa privada, no se pudo avanzar mucho en el punto.

Se buscaron alternativas a esta situación, que resultaron en numerosos acuerdos con diferentes países para el estudio de una nueva central nuclear en el país. Eventualmente, surgió una posibilidad entre la República Popular de China y Argentina, cuando el 25 de junio de 2012 se firmó un acuerdo de cooperación en el campo de la energía nuclear. Dicho acuerdo fue refrendado por un Memorando de Entendimiento sobre Cooperación para una Nueva Central Nuclear en Argentina entre la Corporación Nuclear Nacional China (CNNC) y Nucleoeléctrica Argentina S.A., el 28 de septiembre de 2012. En enero de 2013 se avanzó otro paso mediante el compromiso de avanzar en la tecnología de tubos de presión.

En julio de 2014 se llegó un acuerdo marco sobre la cooperación entre los gobiernos de Argentina y China para la construcción de una central de tubos de presión y agua pesada. En dicho acuerdo se establece que por el lado argentino la empresa autorizada es NA-SA y por el lado chino, la empresa autorizada es la CNNC.

NA-SA, como propietaria del Proyecto Nacional, será responsable de la tecnología en general, construcción, operación, mantenimiento, seguridad y responsabilidad nuclear del Proyecto Nacional. Por su parte, CNNC es responsable de suministrar los equipos y servicios requeridos por la empresa argentina autorizada para la isla nuclear y convencional y diseñar parte de la isla convencional, la cual deberá cumplir con las normas de seguridad nuclear y estándares en la República Argentina y cumplir con los requisitos del propietario.

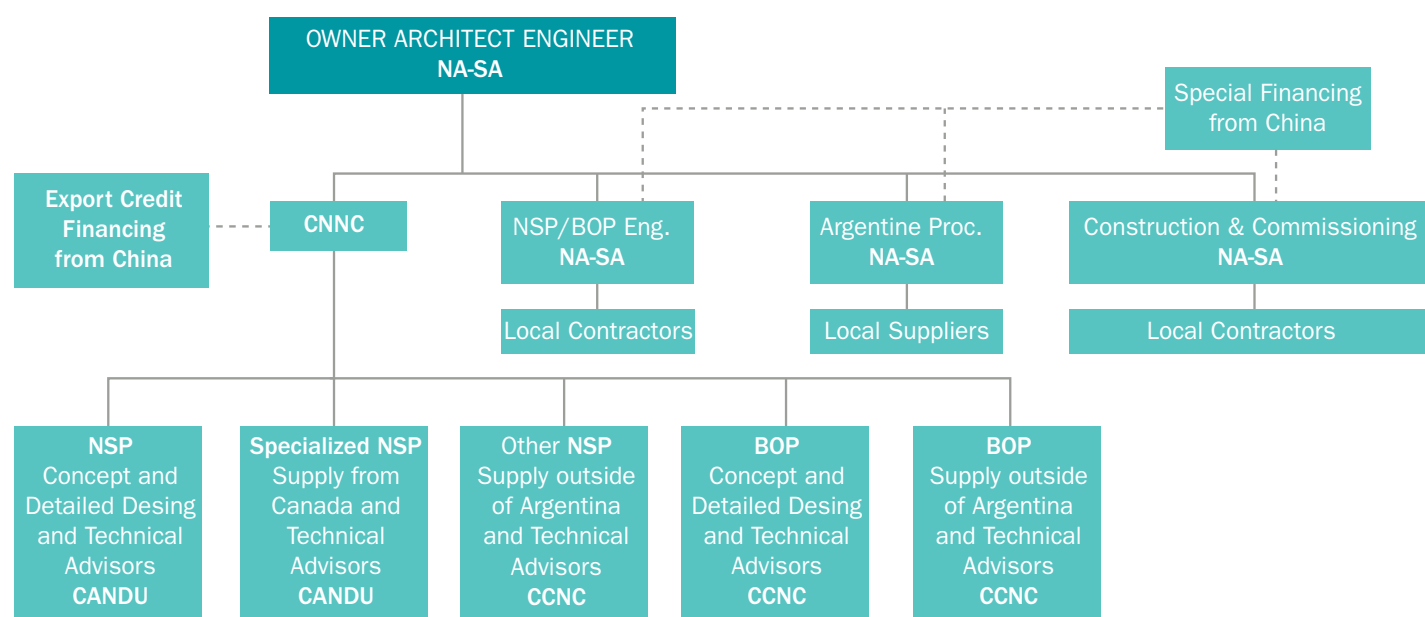
El acuerdo establece que el alcance de los suministros y servicios de la empresa autorizada china incluyen, pero no

están limitados a:

- 1) Asistir a la empresa autorizada argentina para llevar a cabo el trabajo preliminar del Proyecto Nacional,
- 2) Proporcionar servicios técnicos:
  - a) diseño de ingeniería: diseño general y diseño de detalle de la isla convencional;
  - b) Participación en la gestión del diseño;
  - c) Participación en la preparación de documentos de licenciamiento, incluyendo el Informe Preliminar de Seguridad, Informe Final de Seguridad, Estudio de Impacto Ambiental, etc.
  - d) Servicios técnicos en el sitio,
  - e) Entrenamiento de personal.
  - f) Otros servicios de interés mutuo pueden ser acordados por las Partes.
- 3) Suministro de equipos, instrumentos y materias primas de origen chino para la isla nuclear y convencional, incluyendo pero no limitándose a:
  - a) Isla nuclear: bombas principales de circulación del sistema primario de refrigeración, bombas de circulación del moderador, intercambiadores de calor y recipientes, válvulas especiales, compresores y filtros, motores eléctricos de clase nuclear, generadores diesel de emergencia, etc.;
  - b) Isla convencional: turbogenerador y sus auxiliares, bombas de agua de alimentación y bombas de condensado, válvulas especiales, compresores y filtros, etc.;
  - c) Otros ítems de interés mutuo pueden ser acordados por las Partes.

Este alcance es motivo actualmente de intensas negociaciones entre ambas empresas.

En el mismo acuerdo, las Partes conciertan que instituciones financieras de la República Popular China proveerán créditos vinculados al Gobierno de la República Argentina para financiar el 85% de todos los suministros y servicios del Proyecto Nacional y bajo qué condiciones específicas lo harán.



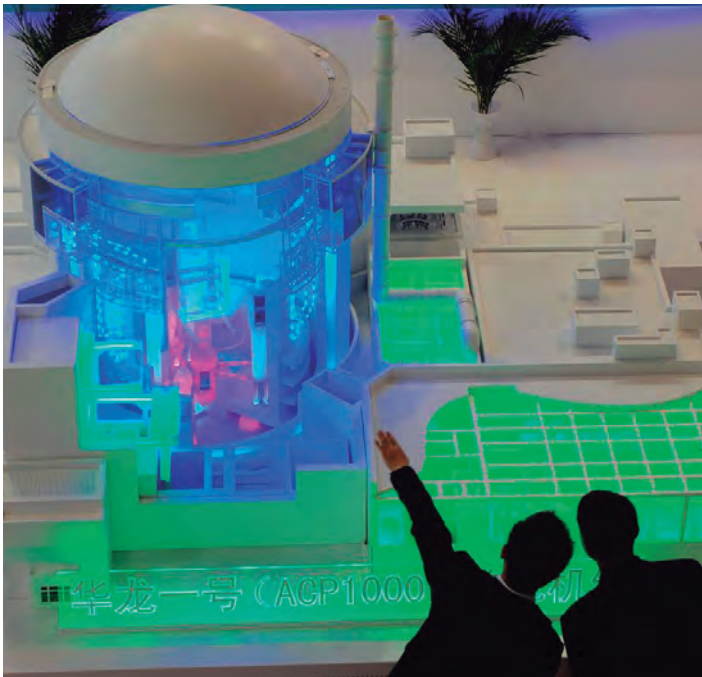


Dicho acuerdo fue consolidado mediante el memorando de entendimiento para la construcción de la central nuclear en febrero de 2015. En dicho memorando se encomienda a las empresas a acelerar los trabajos para alcanzar un acuerdo y llegar a firmar los contratos comerciales e instrumentar los préstamos a ser provistos por las instituciones financieras chinas. El objetivo es conseguir la firma de los contratos antes de diciembre de 2015, para lo cual, intensas negociaciones se están llevando adelante.

En definitiva, el proyecto ya se encuentra en marcha, en una fase preliminar y de ajuste de los alcances del mismo. La

planta de referencia será Qinshan Fase III, un CANDU construido en china. El proyecto prevé la participación de CNNC (China National Nuclear Corp.) and CanduEnergy (Canadá). Se espera que la participación local llegue al 70% de la obra.

Este proyecto es la primera experiencia de NA-SA como Autoridad de Diseño y como Arquitecto Ingeniero para un Proyecto Completo (Integración de la Ingeniería y Control de la Configuración). Como gran parte de los participantes del proyecto de finalización de la CN-NK serán los que participen de este proyecto, será necesario el reentrenamiento de personal técnico y la mejora en el manejo de las Cadenas de Suministros.



# FICHA DE OBRAS NUCLEARES

## PLAN DE INVERSIONES 2016 - 2025

PROYECTO	Atucha III – Proyecto Nacional
LOCALIZACIÓN	Lima, partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires
TIPO DE OBRA	Central Nuclear – Generación Eléctrica
PLAN	PLAN ENERGETICO NACIONAL 2004-2019.

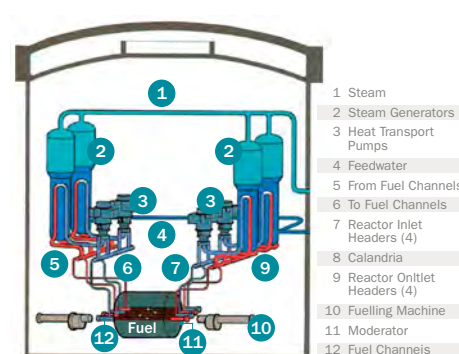
MAQUETA ELECTRÓNICA DEL REACTOR EN EL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO



SITIO ATUCHA. CCNN NÉSTOR KIRCHNER Y PRESIDENTE PERÓN.



DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN REACTOR TIPO CANDU



## PERFIL

### DESCRIPCIÓN - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - DIMENSIONAMIENTO

La Cuarta Central Nuclear (IV CN, Atucha III, Proyecto Nacional) será del tipo CANDU, similar a la CN Embalse.  
 Central de Tubos de presión, con agua pesada como refrigerante y moderador y uranio natural de combustible.  
 La provisión de los elementos combustibles la realizará CONUAR.

Nucleoeléctrica Argentina será la Autoridad de Diseño (Integración de la Ingeniería y Control de la Configuración) y será el Arquitecto Ingeniero.  
 Participación de CNNC (China National Nuclear Corp.) y CanduEnergy (Canadá) a través de la provisión de componentes, equipos y servicios necesarios para el proyecto.

Potencia Bruta de la Central	740 MWe
Potencia térmica del reactor	2.084 MWt
Factor de planta	0,85
Duración	8 años
Picode personal total participante en el sitio	7.000 personas
Horas-Hombre de Construcciones y PeM	43 millones



Inversión en U\$S	6.000 millones
Porcentaje de financiamiento local	15%
Porcentaje de financiamiento externo	85%
Participación Nacional (Localización)	70%
Documentos de Ingeniería	150 mil
Hormigón	170 mil m <sup>3</sup>
Equipos, cañerías, estructuras metálicas	11.500 Ton
Cableado	1.100 Km
Instrumentos	18 mil

**JUSTIFICACIÓN EFECTOS ESPERADOS INTERÉS PARA LA POBLACIÓN BENEFICIARIOS**

La energía generada por la central será superior a 5 millones de MWh, permitiendo ahorros de más de 1000 millones de m<sup>3</sup> de gas natural o su equivalente energético.

La energía generada representa alrededor del 4% de la oferta energética actual de Argentina.

Comparativamente hablando, la central nuclear podría abastecer más de 400.000 hogares, cantidad similar a la de la provincia de Entre Ríos.

**PLAZO DE EJECUCIÓN / REALIZACIÓN**

8 años a partir de 2015.

**COORDENADAS (x)**

59°11'33" Oeste

**COORDENADAS (y)**

33°58'13" Sur

Se espera que la piedra fundamental del proyecto sea colocada en diciembre de 2015, aunque las obras comiencen de manera intensa en 2016. El proyecto está pensando para que finalice en 8 años, por lo que, teniendo en cuenta el período de pruebas, la instalación debería estar produciendo energía en el 2023. El monto esperado de inversión es de USD 6.000 millones.

**3.2.2 QUINTA CENTRAL NUCLEAR**

Paralelamente a las negociaciones por la cuarta central nuclear con la República Popular de China se trabaja para avanzar en la quinta central nuclear. Se busca que la quinta central sea de uranio enriquecido y agua liviana. Esto es debido a que son centrales más económicas de operar, generan menos residuos y permitirían a Argentina avanzar en diferentes tecnologías para el desarrollo del reactor propio (CAREM) de manera más rápida y sencilla.

En febrero de 2015, se firmó un acuerdo de cooperación entre Argentina y China cuyo objetivo es cooperar en la construcción de una central nuclear de tecnología establece que las empresas que llevarán adelante los acuerdos son NA-SA por Argentina y la CNNC por China.

Dentro de los acuerdos, también se establece que NA-SA será el arquitecto-ingeniero del proyecto (a cargo del mismo), que se establecerá transferencia de tecnología, que se asegurará el máximo contenido local de bienes y servicios durante la obra, que se transferirá la tecnología para la fabricación de componentes y elementos combustibles a las empresas locales y que se deberá garantizar la provisión de uranio enriquecido y de elementos combustibles durante la vida útil de la central, que funcionen como respaldo de la producción local.

China se compromete a financiar esta obra de la misma manera que la cuarta central nuclear, es decir, hasta un 85% de

los componentes. La instrumentación del acuerdo establece plazos para su continuación en el marco de la cooperación establecida entre las empresas. Para ello se establece que se deberá llegar a un contrato marco a finales de 2015, a un contrato comercial y un acuerdo financiero entre instituciones financieras chinas y la autoridad competente argentina a finales de 2016.

La central escogida es la ACP-1000 un reactor de origen chino. Tiene una potencia bruta de 1100 MW (1000 MWe Netos). Es la evolución de la línea de diseño de dicho país, que toma parte de los diseños de las centrales nucleares propias y de otros proveedores que se instalaron en dicho país. Contiene además mejoras de diseño post-fukushima.

El reactor está diseñado para que tenga una vida útil de sesenta años, con un ciclo de recambio de combustible de 18

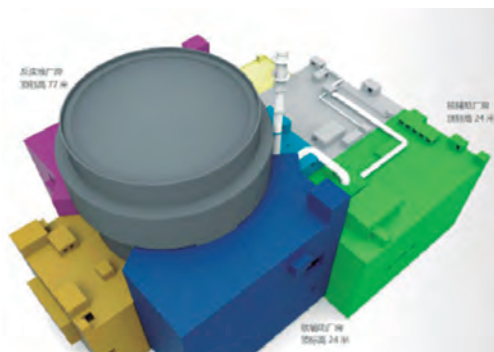
meses. Esto asegura una disponibilidad mayor al 90% en su operación. El reactor contiene un núcleo de 177 elementos combustibles que, una vez entrado en régimen, poseen un quemado promedio mayor a 45 GWd/tU. El recipiente de presión es el equipo más grande del mismo con una longitud superior a los 12 m, un diámetro interno de 4.34 m y un espesor de 22 cm. Está conformado por una aleación de acero con un recubrimiento especial de acero inoxidable austenítico al Cr-Ni AISI 309L, lo que garantiza soportar presiones de hasta 150 kg/cm<sup>2</sup>.

Como prácticamente todas las centrales nucleares que se construyen en la actualidad, adopta métodos para la reducción y manejo del proyecto como ser la modularización de componentes. El proyecto está estimado que comience en 2019, después de la cuarta central nuclear, a un costo total de USD 7.000 millones. El plazo de construcción está estimado en 7 años.

## FICHA DE OBRAS NUCLEARES PLAN DE INVERSIONES 2016 - 2025

<b>PROYECTO</b>	Atucha IV – Quinta Central Nuclear
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Lima, partido de Zárate, Provincia de Buenos Aires
<b>TIPO DE OBRA</b>	Central Nuclear – Generación Eléctrica
<b>PLAN</b>	Plan Energético 2015-2025

EDIFICIOS DEL REACTOR



SITIO ATUCHA. CCNN NÉSTOR KIRCHNER Y PRESIDENTE PERÓN.



MAQUETA ELECTRÓNICA DEL LAY OUT DEL REACTOR



## PERFIL

### DESCRIPCIÓN - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - DIMENSIONAMIENTO

La quinta central nuclear será una central tipo PWR (agua liviana, uranio enriquecido) del tipo ACP-1000 de diseño Chino. Está diseñada para 60 años, con ciclos de combustible de 18 meses. Nucleoeléctrica Argentina será el Arquitecto-Ingeniero del proyecto y deberá contar

con transferencia de tecnología para asegurar un máximo contenido local de bienes y servicios. Se está estudiando la posibilidad de realizar una empresa conjunta entre NA-SA y CNNC para realizar proyectos en conjunto en América Latina.

Se realizarán acuerdos para la transferencia de tecnología de fabricación de elementos combustibles y se deberá garantizar la provisión de uranio enriquecido. Se espera que el financiamiento sea similar al proyecto de la cuarta central

Potencia Bruta de la Central	1.100 MWe
Potencia térmica del reactor	3.060 MWt
Factor de planta	0,9
Duración	8 años
Inversión en U\$S	7.000 millones
Porcentaje de financiamiento local	15%
Porcentaje de financiamiento externo	85%
Participación Nacional (Localización)	50%
Porcentaje Obra Civil	25-30%
Porcentaje Montaje Electromecánico	45-50%
Ingeniería – Licenciamiento – Otros	20-30%

**JUSTIFICACIÓN EFECTOS ESPERADOS INTERÉS PARA LA POBLACIÓN BENEFICIARIOS**

La energía generada por la central será superior a 8 millones de MWh, permitiendo ahorros de más de 1700 millones de m<sup>3</sup> de gas natural o su equivalente energético.

La energía generada representa alrededor del 6% de la oferta energética actual de Argentina.

Comparativamente hablando, la central nuclear podría abastecer más de 600.000 hogares, cantidad similar a la de la provincia de Entre Ríos.

**PLAZO DE EJECUCIÓN / REALIZACIÓN**

7 años a partir de 2019.

**COORDENADAS (x)**

59°11'33" Oeste

**COORDENADAS (y)**

33°58'13" Sur

**3.2.3 SEXTA CENTRAL NUCLEAR**

Así como en febrero de 2015 se firmaron acuerdos con China para la construcción de una cuarta y quinta centrales nucleares, en el mes de abril se sucedieron acuerdos con la Federación Rusa, en un marco amplio de cooperación entre ambos países. De esos acuerdos, se evalúa la construcción de una nueva central nuclear, la sexta, de origen ruso.

El acuerdo firmado con Rusia se denomina Plan de Acción Para la Cooperación Argentino-Rusa Económico-Comercial y de Inversiones en el Marco de la Comisión Intergubernamental Argentino-Rusa para la Cooperación Económico-Comercial y Científico-Tecnológica para los Años 2015 – 2016. Este acuerdo es marco y contempla diversas áreas y sectores económicos bajo los cuales se realizará cooperación. En el punto 6 el acuerdo propicia la cooperación en el área energé-

tica, mencionando los proyectos de la central hidroeléctrica Chihuido 1 en la Provincia de Neuquén, los trabajos de identificación de localidades para los proyectos hidroeléctricos y energía mareomotriz, de conformidad con el Memorando de Entendimiento entre OJSC RusHydro y ENARSA, suscripto en 24 Mayo de 2011, proyectos en conjunto en el área de explotación hidrocarburífera entre YPF, ENARSA y “OJSC Power Machines”, “SRL Inter RAO-Export”, “Rosneft”, “JSCGazprom” y “OJSC Lukoil”. Por último en el mismo punto se convoca a celebrar consultas entre la CNEA y Rosatom sobre la construcción de un central nuclear de diseño ruso en Argentina.

En la misma fecha se realizó otro acuerdo estratégico integral entre Argentina y Rusia donde se menciona la posibilidad de continuar el diálogo sobre la posible participación de Rusia en la construcción de la sexta central nuclear en el territorio de la Argentina y, en tal marco, impulsar la cooperación entre la Empresa Nucleoeléctrica Argentina y RusatomOverseas. Asimismo, las partes continuarán la cooperación en otras áreas en el marco del “Acuerdo entre el Gobierno de la República Argentina y el Gobierno de la Federación de Rusia sobre la Cooperación en el Uso Pacífico de la Energía Nuclear”, firmado el 12 de julio de 2014.

La central que Rusia ofrece es un VVER-1200 AES-2006, siendo el diseño culmine de una larga línea de reactores VVER. Cumple con todos los requerimientos de seguridad para una central nuclear de generación III+. Este tipo de centrales se encuentran en construcción en Leningrado, Novovoronezh y son las ofertadas por Rusia a Turquía y Bielorrusia.

Los principios de diseño de esta central son la maximización en el uso de tecnología probada, la minimización en el costo y tiempos de construcción mediante modularización y un riguroso trabajo de gestión de proyectos, una combinación de sistemas de seguridad activos y pasivos para controlar cualquier situación apartada de la normalidad y la reducción en la interacción humana para la seguridad.

En la siguiente figura se observa un lay-out típico de la central. Su vida útil fue diseñada para sesenta años, con un ciclo de recambio de combustible de 18 meses. Esto le asegura una disponibilidad mayor al 90%. El combustible, como en todas las centrales VVER es de tipo hexagonal, en el núcleo se alojan 163 elementos combustibles, que poseen uranio enriquecido al 4,95% lo que le asegura un quemado de 60 GWd/tU.

El circuito primario está compuesto por cuatro trenes de bombas y generadores de vapor, siendo distintivo de los VVER el posicionamiento horizontal de los mismos. El caudal que circula por el primario, a través de las cuatro bombas es de 86.000 m<sup>3</sup>/hora.

El proyecto está contemplado que comience en el año 2023, para poder balancear bien la carga de personal y divisas requeridas para este plan nuclear, ya que la cuarta central se estima comenzará ese mismo año a operar. El plazo asignado son siete años, y el costo total del proyecto se estimó en USD 8.000 millones. Aunque en los acuerdos no se estableció el porcentaje de la inversión a ser cubierto por el gobierno ruso, se estima que no debería ser inferior a lo acordado con el gobierno de China, es decir, un 85%.

La apertura de costos de la central nuclear está pensada de manera similar a la de la quinta, con un 18% de costos de ingeniería y licenciamiento (incluida la puesta en marcha), otro tanto de contratos, permisos y costos de propietario, un 25% de obra civil, un 29% de obra mecánica y el resto de obra eléctrica e instrumentación y control.

Otro de los motivos por los que la central recién se comenzaría a construir en el 2023 es que se deberá realizar la búsqueda y aprobación de un nuevo sitio en Argentina, que si bien históricamente ya fueron estudiados algunos, los procesos de estudio, confirmación y aprobación de sitios han demostrado ser largos procesos de búsquedas de consensos.



- |    |  |
|----|--|
| 1  | Edificio del reactor                       |
| 2  | Edificio de turbinas                       |
| 3  | Venteo                                     |
| 4  | Planta de tratamiento                      |
| 5  | Edificio de generadores diesel             |
| 6  | Edificio de servicios nucleares            |
| 7  | Edificio de auxiliares                     |
| 8  | Generadores diesel de emergencia           |
| 9  | Edificio de equipamiento de seguridad (x4) |
| 10 | Puente de transporte de materiales         |
| 11 | Celdas de vapor                            |
| 12 | Planta de tratamiento de agua              |
| 13 | Edificio de abastecimiento de energía      |
| 14 | Transformadores                            |
| 15 | Edificio de control                        |
| 16 | Almacenamiento de combustibles             |

### 3.2.4 CAREM-120

Una vez finalizado el proyecto del prototipo de la Central Nuclear CAREM, el paso siguiente lógico es escalar el proyecto a una capacidad comercial que sea el módulo que finalmente se termine construyendo en el país.

El CAREM, como concepto de reactor evolutivo con sistemas de seguridad pasivos y circulación del primario por convección natural, podría ser escalado hasta los 120-150 MWe. Si se utilizan bombas en el primario para asegurar la circulación del primario, el proyecto podría ampliar su capacidad hasta unos 300 MWe. En el presente ejercicio se asume que el reactor será escalado a 120 MWe. Esto presenta ventajas constructivas y de licenciamiento ya que presentará el mismo concepto que el reactor CAREM-25.

El costo por kW instalado es superior a los reactores de gran tamaño, en el orden de los 8300 USD/kW. Las ventajas de los reactores pequeños modulares son otras, menores tiempos de construcción, menor exposición financiera, posibilidad de modularización y estandarización constructiva, entre otros factores.

Los costos estimados de instalación se distribuyen en un 25% en ingeniería y licenciamiento, 17% contratos y permisos, 25% obra civil, 18% obra mecánica y un 15% obra eléctrica y de instrumentación y control. Para el período 2016-2025 se estima que se comenzaría a construir una central de dos módulos CAREM, el primero durante el período 2020-2024 y el segundo retrasado dos años, 2022-2026.

### 3.2.5 ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

En cuanto a las capacidades y proyectos para enriquecer uranio a escala comercial, Argentina ha realizado declaraciones sobre la posible evolución de estos proyectos. En la actualidad, como se comentó previamente, se están realizando investigaciones sobre tres líneas tecnológicas de enriquecimiento de uranio; difusión gaseosa, ultracentrifugación y láser.

Todavía es pronto para definir cuál de dichas líneas será la que presente más ventajas para un posible escalado a planta comercial, lo que se estima ocurrirá en 2017. A partir de dicha fecha, se plantea un proyecto que incluirá el desarrollo tecnológico de la línea escogida. Conceptualmente, el proyecto iniciaría con una etapa de demostración piloto, en una escala menor a la comercial, que insumiría cuatro años. A continuación, y si el contexto político y la tecnología continúa desarrollándose de manera favorable, se continuaría con el escalado comercial, que insumiría los siguientes cinco años, de manera que a finales de 2025, se estaría incorporando al ciclo de combustible local una planta de enriquecimiento de uranio.

Existe una gran incertidumbre respecto a la inversión a utilizar para desarrollar un proyecto de estas características, debido principalmente a factores de índole tecnológica que todavía ni siquiera fueron planteados, por lo que el costo

total del proyecto, aunque se estime en USD 800 millones, puede variar significativamente.

### 3.2.6 REPOSITORIO DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD

Una de las tareas planteadas para el período 2016-2025 es la construcción de un repositorio (o almacén centralizado) para residuos de baja y media actividad que concentre todos los residuos nucleares del país. Este proyecto está contemplado que se comience para el final del período de estudio, por lo cual las tareas iniciales serán las de selección de emplazamiento, de sistemas de disposición, el diseño conceptual del complejo y la comunicación política y social para lograr la aprobación de tan compleja iniciativa.

La tecnología utilizada para el almacenamiento de residuos de nivel medio es un repositorio de hormigón con doble barrera. Esto asegura el aislamiento por 300 años, tiempo en el cual se estima los residuos ya habrán dejado de ser radiactivos, por lo que se puede realizar una disposición común. En las figuras siguientes se observan dos maquetas electrónicas donde se puede apreciar la doble barrera.

Para residuos de nivel bajo en cambio se opta por un repositorio de hormigón con barrera simple, esto asegura su aislamiento por 50 años.

En este caso, los plazos para la ejecución de los proyectos son fuertemente dependientes de la sensibilidad social y el apoyo político para realizar la tarea, ya que prácticamente todas las provincias tienen un régimen o ley que limita o prohíbe el traslado, procesamiento, almacenamiento de residuos radiactivos.

El proyecto contempla el inicio de las actividades en el año 2020, y que se extiendan por diez años, a un monto estimado de USD 400 millones.

### 3.2.7 OTRAS ACTIVIDADES E INSTALACIONES.

Dentro de la propuesta planteada en el APE, se mencionó como las centrales nucleares traccionan al ciclo de combustible nuclear. Es por ello que también se plantea una nueva planta de fabricación de elementos combustibles para poder abastecer a las centrales nucleares que utilicen uranio enriquecido, una nueva planta de producción de radioisótopos que procesará todos los productos que genere la operación del RA-10 y una nueva planta de fabricación de elementos combustibles para reactores de investigación, que se utilizará para la producción de los EECC del RA-10 y eventualmente la exportación de los mismos. Cada una de estas instalaciones dependerá de los plazos de ejecución de los proyectos a los que abastecerán, o utilizarán sus productos. El tamaño y diseño de las mismas todavía no fue contemplado, ya que también dependerá del alcance de cada proyecto y, en el caso de los elementos combustibles para reactores de potencia, de la posible transferencia de tecnología que realicen los proveedores de las centrales nucleares.



# 4

## INVERSIONES - CONCLUSIÓN

Para el período en estudio, las inversiones que se contemplaron están en el orden de los USD 26.500 millones. En los gráficos que siguen a continuación, se desagregan estos montos por proyecto. Los montos a invertir por año están situados entre USD 2000 y 3000 millones.

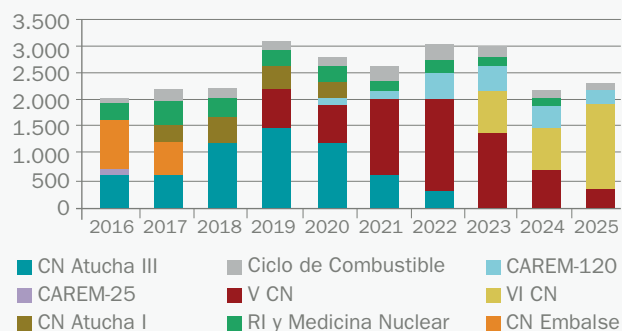
Si se analizan los destinos, es decir los grupos de proyecto, se observa que el mayor monto (más del 80%) será destinado a la construcción de centrales nucleares, mientras que las inversiones del ciclo de combustible y medicina nuclear se llevan un porcentaje sensiblemente menor.

Por otra parte, se representaron las inversiones por estado de avance, es decir si ya se encuentran en ejecución, si son

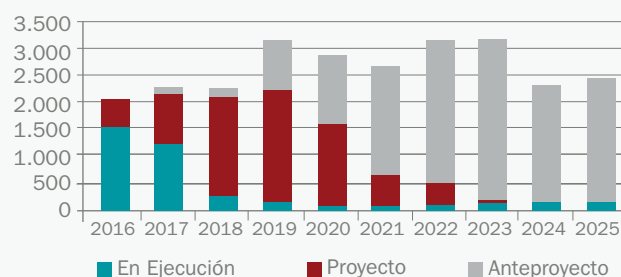
proyectos firmes, o si son un anteproyecto. Los montos considerados para el mantenimiento de las instalaciones son consideradas en ejecución. Las inversiones consideradas en anteproyecto, son las que tienen mayor incertidumbre en cuanto a los plazos y montos.

Finalmente se presenta la fuente de financiamiento del plan de obras nuclear. La fuente de financiamiento extranjera abarca exclusivamente a las tres grandes centrales nucleares. Como se mencionó en el acuerdo con China por la cuarta central nuclear, este país se compromete a un financiamiento del 85% de la obra, para la quinta y sexta central se propuso un porcentaje similar, aun cuando todavía no se haya definido.

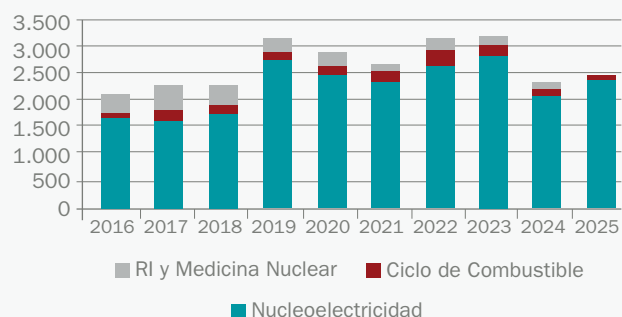
INVERSIÓN POR PROYECTO [Millones USD]



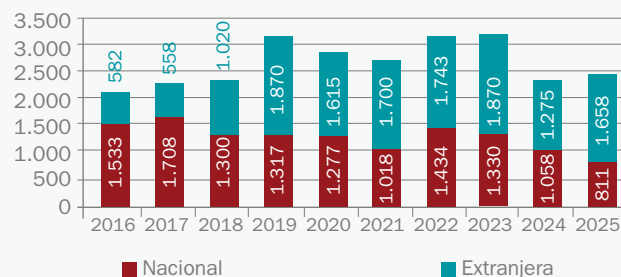
INVERSIÓN POR ESTADO DE AVANCE DEL PROYECTO [Millones USD]



INVERSIONES POR DESTINO [Millones USD]



INVERSIONES POR FUENTE DE FINANCIAMIENTO [Millones USD]



## TABLA RESUMEN

Nombre	Provincia	Ubicación	Sector	Subsector
CN Atucha III	Buenos Aires	Lima	Energía	Nuclear
V CN	Buenos Aires	Lima	Energía	Nuclear
VI CN	A definir	a definir	Energía	Nuclear
CAREM-25	Buenos Aires	Lima	Energía	Nuclear
CAREM-120	A definir	a definir	Energía	Nuclear
CAREM-120	A definir	a definir	Energía	Nuclear
CN Embalse	Córdoba	Río Tercero	Energía	Nuclear
CN Atucha I	Buenos Aires	Lima	Energía	Nuclear
Nueva Planta de Uranio	Formosa	Formosa	Energía	Nuclear
Planta de Enriquecimiento de Uranio	Rio Negro	Pilcaniyeu	Energía	Nuclear
CONUAR	Buenos Aires	a definir	Energía	Nuclear
Cerro Solo	Chubut	Paso de los Indios	Minería	Nuclear
San Rafael	Mendoza	San Rafael	Minería	Nuclear
PRAMU Malargüe	Mendoza	Malargüe	Minería	Nuclear
PRAMU Córdoba	Córdoba	Ciudad de Córdoba y Los Gigantes	Minería	Nuclear
PRAMU Salta	Salta	Tonco	Minería	Nuclear
PRAMU	A definir	A definir	Minería	Nuclear
PRAMU	A definir	A definir	Minería	Nuclear
Repositorio de Baja y Media Actividad	A definir	A definir	Tecnología	Nuclear
RA-10	Buenos Aires	Ezeiza	Tecnología	Nuclear
Planta de Producción de Radioisótopos	Buenos Aires	Ezeiza	Tecnología	Nuclear
Planta Industrial de Elementos Combustibles para Reactores de Investigación	Buenos Aires	Ezeiza	Tecnología	Nuclear
Centros de Medicina Nuclear Fase 1	Entre Ríos, Rio Negro, Santa Cruz, La Pampa, Santiago del Estero, Formosa, Jujuy	Paraná, Bariloche, Rio Gallegos La Pampa, Santiago del Estero, Formosa, Jujuy	Salud	Nuclear
Centros de Medicina Nuclear Fase 2	Neuquén, Córdoba, Santa Fe, Salta	Neuquén, Córdoba, Rosario, Salta	Salud	Nuclear
Centros de Medicina Nuclear Fase 3	Tucumán, Corrientes San Juan, Buenos Aires	Tucumán, Corrientes San Juan, Bahía Blanca	Salud	Nuclear
Centros de Medicina Nuclear Fase 4	Chaco, La Rioja, San Luis, Chubut	Resistencia, La Rioja San Luis, Trelew	Salud	Nuclear

Descripción	Monto (MMUSD)	Plazo	Financiamiento	Estado	Notas
Central Nuclear Atucha III	6.000	2016-2022	85% Financiamiento China 15% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	Potencia Bruta 800 MW - Neta 750 MW
Quinta Central Nuclear	7.000	402.551	85% Financiamiento China 15% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	Potencia Bruta 1100 MW - Neta 1000 MW
Sexta Central Nuclear	8.000	42.598	85% Financiamiento Rusia 15% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	Potencia Bruta 1200 MW - Neta 1100 MW
Reactor Nuclear CAREM-25	500	1,8	100% Financiamiento Estado Nacional	En ejecución	Potencia Bruta 27 MW - Neta 25 MW
Reactor Nuclear CAREM-120	1.000	116.870	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	Potencia Bruta 130 MW - Neta 120 MW
Reactor Nuclear CAREM-120	1.000	12.367	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	Potencia Bruta 130 MW - Neta 120 MW
Proyecto Extensión de Vida Central Nuclear Embalse	3.000	8,0	92% Financiamiento Estado Nacional 240 MMUSD Préstamo CAF	En ejecución	
Proyecto Extensión de Vida Central Nuclear Atucha I	1.500	519.421	100% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	
Dioxitek - Nueva Planta de Uranio	250	54.965	100% Financiamiento Estado Nacional	En ejecución	Capacidad de procesamiento: dos trenes de 230 t de uranio c/u
Planta Industrial de Enriquecimiento de Uranio	800	402.551	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	Planta industrial, capacidad a determinar
Nueva Planta de Fabricación de Elementos Combustibles	250	42.598	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	Planta para combustibles nucleares de uranio enriquecido
Mina de Uranio Cerro Solo	300	1,8	100% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	
Complejo Minero Fabril San Rafael	100	116.870	100% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	
Cierre definitivo del Complejo Minero Fabril Malargüe	30	12.367	100% Financiamiento Estado Nacional	En ejecución	
Cierre definitivo del Complejo Fabril Córdoba y de la mina Los Gigantes	50	8,0	100% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	
Cierre definitivo de la mina Don Otto	25	519.421	100% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	
Cierre definitivo sitio PRAMU a definir	15	54.965	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	
Cierre definitivo sitio PRAMU a definir	20	519.421	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	
Almacén Centralizado de Residuos de Baja y Media	400	54.965	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	
Reactor de Investigación y Producción de Radioisótopos RA-10	400	402.551	100% Financiamiento Estado Nacional	En ejecución	
Planta de Producción de Radioisótopos para procesamiento de lo generado por el RA-10	200	42.598	100% Financiamiento Estado Nacional	Proyecto	
Planta Industrial de EECC para abastecer al RA-10	100	1,8	100% Financiamiento Estado Nacional	En ejecución	
Plan Nacional de Medicina Nuclear Fase 1	800	116.870	100% Financiamiento Estado Nacional	En ejecución	40% Infraestructura 60% Equipamiento
Plan Nacional de Medicina Nuclear Fase 2	400	12.367	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	40% Infraestructura 60% Equipamiento
Plan Nacional de Medicina Nuclear Fase 3	400	8,0	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	40% Infraestructura 60% Equipamiento
Plan Nacional de Medicina Nuclear Fase 4	400	519.421	100% Financiamiento Estado Nacional	Anteproyecto	40% Infraestructura 60% Equipamiento



