



## Breve historia de los reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos de la CNEA

## Breve historia de los reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos de la CNEA

**Por Ricardo De Dicco**

**Buenos Aires, Mayo de 2013**

### TABLA DE CONTENIDOS

<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>Breve historia del desarrollo nuclear argentino .....</b>	<b>6</b>
Período 1950-1958 .....	6
Período 1959-1967 .....	7
Período 1968-2002 .....	9
Período 2003-Actualidad .....	14
<b>Caracterización de los reactores nucleares de investigación y producción propiedad de la CNEA .....</b>	<b>20</b>
Reactor RA-1 .....	21
Reactor RA-0 .....	25
Reactor RA-2 .....	26
Reactor RA-3 .....	29
Reactor RA-4 .....	33
Reactor RA-6 .....	34
Reactor RA-8 .....	37
Nuevo reactor nuclear de investigación y producción de radioisótopos RA-10 .....	38
<b>Anexo de imágenes .....</b>	<b>43</b>
<b>Informes/Artículos vinculados .....</b>	<b>54</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>55</b>
<b>Enlaces de interés .....</b>	<b>59</b>



## Introducción

Los reactores nucleares son instalaciones en las cuales se producen reacciones en cadena en los núcleos de los átomos que al producirse la fisión de los mismos liberan energía. En algunas de estas instalaciones se desarrollan partículas como parte del proceso y en otras se genera energía cuyo origen son procesos que ocurren al nivel de los núcleos de los átomos. En ese sentido, podemos clasificar a los reactores nucleares, en términos generales, en reactores de investigación y en reactores de potencia. Éstos últimos son aquellos cuyo propósito es la generación de energía eléctrica, mientras que los reactores de investigación son aquellos que tienen como propósito la obtención adecuada de partículas nucleares, más precisamente neutrones. Con la obtención de esos neutrones se pueden llevar a cabo diversos estudios sobre materiales, producir radioisótopos de diversas aplicaciones y realizar prácticas de entrenamiento.

Los objetivos principales de un reactor de investigación, según la CNEA, es proveer neutrones para:<sup>1</sup>

- *Conocer más acerca de la interacción de la radiación con los materiales.*
- *Investigar acerca del comportamiento de los neutrones en un reactor nuclear.*
- *Investigar sobre las radiaciones.*
- *Analizar materiales mediante técnicas no destructivas.*
- *Producir radioisótopos de uso medicinal, industrial y agropecuario.*
- *Investigar fenómenos físicos a nivel del átomo y sus núcleos.*
- *Desarrollar criterios de seguridad y radioprotección.*
- *Aprender sobre el manejo de reactores.*
- *Desarrollar e implementar terapias de cura de cáncer por medio de neutrones.*
- *Docencia en el área de la Ingeniería Nuclear y la Física Nuclear.*
- *Conocer mejor el comportamiento de los reactores.*
- *Poder simular condiciones neutrónicas de reactores de potencia a diseñar o ya diseñados.*

Los reactores de investigación prestan servicios de diverso tipo muy relevantes a organismos públicos, a la medicina, la industria y el sector agropecuario, contribuyendo enormemente al desarrollo científico y tecnológico de nuestro país.

---

<sup>1</sup> Se recomienda al lector consultar el enlace correspondiente al siguiente material de divulgación elaborado por el Centro Atómico Bariloche de la CNEA en la década del '90:

<http://www.cnea.gov.ar/xxi/divulgacion/raiz/uno.html>

También sugerimos consultar el siguiente enlace con información general más actualizada sobre los reactores nucleares de experimentación y producción de la CNEA:

[http://www.cnea.gov.ar/investigacion\\_desarrollo/reactores\\_de\\_investigacion.php](http://www.cnea.gov.ar/investigacion_desarrollo/reactores_de_investigacion.php)

Y este otro enlace sobre los proyectos del área nuclear de la empresa INVAP Sociedad del Estado:

<http://www.invap.com.ar/es/area-nuclear-de-invap.html>



La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) es propietaria de siete reactores nucleares de investigación, seis de ellos construidos en el país. Estos reactores fueron instalados en los centros atómicos Constituyentes (CAC), Ezeiza (CAE) y Bariloche (CAB), en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP) y en las universidades nacionales de Córdoba (UNC) y de Rosario (UNR).

De los siete reactores, seis de ellos se encuentran actualmente operativos (uno de los cuales está en reserva) y el restante fue desmantelado en la década del '80. Tres reactores son empleados con fines de investigación, siendo uno de ellos diseñado también para la producción comercial de radioisótopos, y los tres restantes fueron diseñados como facilidades de ensayos críticos, dos de los cuales se emplean en prácticas y operaciones de entrenamiento y el restante sirvió oportunamente como conjunto crítico para la optimización y medición de los parámetros neutrónicos requeridos para el diseño del reactor nuclear de potencia CAREM, y corresponde al que referenciamos precedentemente que se encuentra en reserva.

Si bien el propósito de este informe es caracterizar la historia y servicios brindados a la sociedad por los reactores nucleares de investigación y producción propiedad de la CNEA, consideramos necesario indagar previamente sobre algunos de los principales hitos históricos del desarrollo nuclear argentino.<sup>2</sup> En ese sentido, el abordaje sobre el desarrollo histórico de la actividad nuclear en nuestro país será dividido en cuatro períodos: 1950-1958, 1959-1967, 1968-2002 y 2003-Actualidad, mostrando mayor énfasis en el relato correspondiente al último período.

El período 1950-1958 corresponde a la etapa de creación y organización de los equipos de trabajo de la CNEA, la formación de los recursos profesionales y de los primeros cursos de capacitación en ingeniería y en física nuclear, la creación de los primeros laboratorios, la fabricación de la primera generación de elementos combustibles y la construcción y puesta en marcha del primer reactor nuclear de investigación.

---

<sup>2</sup> Sugerimos la lectura del excelente artículo de Roberto Ornstein: "**El desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa**", publicado en el N° 37/38 (Enero/Junio de 2010) de la revista de la CNEA: [http://www.cnea.gov.ar/pdfs/revista\\_cnea/37/60a%C3%B1os.pdf](http://www.cnea.gov.ar/pdfs/revista_cnea/37/60a%C3%B1os.pdf) Otro enlace sobre la historia de la CNEA: [http://www.cnea.gov.ar/que\\_es\\_la\\_cnea/historia.php](http://www.cnea.gov.ar/que_es_la_cnea/historia.php) en el cual se podrá profundizar en mayor detalle los principales hitos históricos del desarrollo nuclear argentino entre 1950 y primeros meses del año 2010. Para complementar esto sugerimos consultar este otro enlace: <http://www.cnea.gov.ar/noticias.php> correspondiente a las notas de prensa de la CNEA. Este otro enlace: [http://www.cnea.gov.ar/comunicacion/canal\\_encuentro.php](http://www.cnea.gov.ar/comunicacion/canal_encuentro.php) corresponde a un programa especial sobre la historia de la energía nuclear argentina elaborado por el canal *Encuentro* (dependiente del Ministerio de Educación de la Nación) al cumplirse el 60º Aniversario de creación de la CNEA. Y este otro enlace: <http://www.cnea.gov.ar/video.php> corresponde a un vídeo elaborado por la CNEA con motivo de su 60º Aniversario (del año 2010) y este otro del 61º Aniversario (del año 2011): <http://www.cnea.gov.ar/videos/61a%C3%B1os/cnea61.htm>



El período 1959-1967 corresponde al desarrollo científico y tecnológico de las aplicaciones nucleares, destacándose también la evolución hacia una nueva generación en la fabricación de elementos combustibles para reactores de experimentación y producción así como también en la construcción de dos facilidades de ensayos críticos y de un reactor nuclear de investigación y producción comercial de radioisótopos, sumado a ello los primeros estudios de factibilidad técnica y económica requeridos para la planificación del futuro parque de generación nucleoelectrónica.

El período 1968-2002 corresponde a la consolidación y madurez obtenida a lo largo de las etapas anteriores, en la construcción de una nueva generación de reactores nucleares de experimentación, investigación y producción de radioisótopos (mayoritariamente para su exportación), en la introducción de la generación nucleoelectrónica, los primeros desarrollos propios de centrales nucleares de potencia y el dominio pleno del ciclo del combustible nuclear.

Mientras que el período 2003-Actualidad corresponde a la reactivación de la actividad nuclear paralizada parcialmente por disminución de las asignaciones presupuestarias desde 1987 y por las reformas estructurales de la década del '90.

A continuación del mencionado capítulo se presentará una breve caracterización con datos históricos y generales correspondiente a cada uno de los reactores nucleares de investigación/producción propiedad de la CNEA, así como también se listarán los servicios brindados y actividades realizadas en los mismos durante el año 2011 (que corresponde a la última Memoria y Balance publicada por la CNEA). Sobre el final de este informe se presenta un anexo con imágenes de cada una de estas instalaciones nucleares correspondientes al capítulo de los reactores.

La información del presente informe fue recolectada en gran medida de los siguientes documentos de la CNEA: *Memoria y Balance* (2000 a 2011); *Memoria* (1997 y 1998); *Informe Anual de Actividades* (1995 a 1997); *Memoria Anual* (1962 a 1967, 1970, 1971, 1976 a 1988); *Boletín Informativo* (1957 a 1963). También fueron consultadas las notas de prensa de la CNEA (2002 a 2013), de INVAP (2012 y 2013) y de NA-SA (2012 y 2013), y la *Memoria y Balance* de INVAP (correspondiente a los ejercicios económicos 2010 a 2012).

Por otra parte, se procedió a la consulta de informes muy enriquecedores, entre otros, del Dr. José Rolando Granada respecto al Proyecto del nuevo reactor nuclear RA-10 y del Dr. Renato Radicella en relación a la historia de la producción de radioisótopos en Argentina, del maravilloso libro del Dr. Arturo López Dávalos y de Norma Badino "**J. A. Balseiro: crónica de una ilusión. Una historia de la física en la Argentina**" (FCE, 2000), de documentos técnicos sobre temas específicos de la CNEA y también de informes y artículos de elaboración propia y de otros miembros del Departamento de Tecnología Nuclear del CLICET.



Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación del CLICET mucho más amplio sobre la *Historia de la Energía Nuclear en Argentina*.

Se aprovecha la oportunidad para agradecer el fuerte respaldo y estímulo otorgados incondicional y desinteresadamente por amigos y colegas del CLICET, en particular el brindado por el *Dr. Federico Bernal* (CLICET), el *Lic. Facundo Deluchi* (CNEA/CLICET) y el *Ing. Alfredo Fernández Franzini* (NA-SA/CLICET).

**Ricardo De Dicco. Buenos Aires, 31 de Mayo de 2013.**



## Breve historia del desarrollo nuclear argentino

### Período 1950-1958

La primera etapa de consolidación del desarrollo nuclear argentino corresponde al período 1950-1958, iniciándose gracias al grupo de científicos y técnicos liderados por el Dr. José A. Balseiro<sup>3</sup> con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) el 31 de Mayo de 1950,<sup>4</sup> y la inmediatamente posterior organización de equipos de trabajo en investigación y desarrollo y la formación del personal de la Comisión primero en el exterior y más tarde en el país.

En este período se realizan también las primeras prospecciones uraníferas en las provincias de Salta, Catamarca, La Rioja, Córdoba, San Luis, San Juan, Mendoza, Neuquén y Chubut, y las primeras explotaciones mineras de uranio en las provincias de La Rioja, Mendoza y Neuquén. El descubrimiento del primer yacimiento de uranio se realizó en el denominado "Papagayo" en la provincia de Mendoza y fue anunciado el 9 de Octubre de 1951. La primera extracción de uranio se realiza sobre el yacimiento "Agua Botada" de la provincia de Mendoza en 1952.

También en otros ámbitos se producen hitos de gran importancia. Mencionaremos algunos a modo ilustrativo.

En 1950 la CNEA crea en la Universidad Nacional de Tucumán el Laboratorio de Investigaciones Nucleares. El 18 de Febrero de 1952 la CNEA firma un contrato con la empresa holandesa Philips para la adquisición de un sincrociclotrón y simultáneamente comienza la construcción de un edificio para albergar este laboratorio en la Sede Central. Comenzó a operar el 5 de Noviembre de 1954 (perfeccionado en 1958).<sup>5</sup> Fue empleado en trabajos de investigación científica y tecnológica en los campos de la química, física, biología, medicina, electrónica y tecnología nuclear, y desde 1960 se lo utilizó también para la producción de radioisótopos con fines de aplicación tecnológica. También es instalado en Sede Central de la CNEA, en 1953, un acelerador lineal del tipo Cockroft-Walton de 1,2 MV que posibilitaba acelerar deuterones y partículas alfa hasta energías de 28 MeV, convirtiéndose en un valioso aporte para la formación de grupos de científicos relacionados a la física experimental. Un acelerador similar, pero de hasta 120 KV, es instalado en el Centro Atómico Bariloche en 1957 (Suárez, 2003).

---

<sup>3</sup> Recomendamos la lectura del excelente libro **J. A. Balseiro: crónica de una ilusión. Una historia de la física en la Argentina**, de Arturo López Dávalos y Norma Badino (FCE, 2000).

<sup>4</sup> Decreto 10936/1950 de creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica:

<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/195000-199999/198653/norma.htm>

<sup>5</sup> Con respecto al perfeccionamiento del Laboratorio del Sincrociclotrón efectuado en 1958, el mismo consistió en la puesta en servicio de un sistema deflector magnético y la instalación adicional para el empleo de haz externo de deuterones; esta instalación de haz externo fue completada con equipos electrónicos fabricados por el Departamento de Electrónica de la CNEA. En este proyecto colaboró también el Departamento de Ingeniería Electromecánica de la CNEA. Para más información sobre las facilidades experimentales de este Laboratorio, consultar Mayo, Santos (1966).



En 1953 la CNEA inaugura la planta piloto para la producción de uranio metálico por calciotermia en Ezeiza, en 1955 la CNEA y la Universidad Nacional de Cuyo firman un convenio para la creación del Instituto de Física (hoy Instituto Balseiro); ese mismo año se inaugura el Centro Atómico Bariloche (CAB) y además la CNEA anuncia en Ginebra, Suiza, el descubrimiento de una veintena de radioisótopos en la *Primera Conferencia sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos*.<sup>6</sup> En 1958 egresa la primera promoción de Licenciados en Física del Instituto Balseiro<sup>7</sup> y además se inaugura el Centro Atómico Constituyentes (CAC).

Esta extraordinaria primera etapa tiene como principal resultado la construcción entre Mayo y Diciembre de 1957 y la puesta en marcha el 17 de Enero de 1958 del reactor nuclear de investigación RA-1. Otro resultado estratégico de este período ha sido el diseño y fabricación de la primera generación de elementos combustibles que sirvieron para este reactor y que luego evolucionó en su diseño para ser empleados en los siguientes reactores nucleares de investigación construidos en el país. La planta de fabricación de elementos combustibles para reactores nucleares de investigación había sido inaugurada en 1957.

Cabe destacar que en 1958 la CNEA concretó su primera transferencia científico-tecnológica para la fabricación de elementos combustibles empleados en reactores nucleares de investigación al exportar dicha tecnología nuclear a la empresa Degussa-Leybold AG de la entonces República Federal de Alemania. En efecto, las determinaciones de control efectuadas por los laboratorios de la CNEA, de la mencionada empresa alemana y de otros laboratorios extranjeros ubicaron al uranio metálico producido por la CNEA en su fábrica localizada en Ezeiza entre los de primera calidad de todos los producidos en el mundo.

### **Período 1959-1967**

La segunda etapa de consolidación corresponde al período 1959-1967, sinónimo del desarrollo científico y tecnológico de las aplicaciones nucleares. Se diseñan y construyen dos reactores nucleares experimentales o facilidades de ensayos críticos: RA-0 y RA-2,<sup>8</sup> y el reactor nuclear de investigación y producción comercial de

---

<sup>6</sup> Véase al respecto: Radicella, Renato (2003). "Los veinte radioisótopos descubiertos en Argentina", en *Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica* Nº 5/6 - Junio de 2002. CNEA, Sede Central. Buenos Aires.

<sup>7</sup> Véase al respecto: <http://www.ib.edu.ar/index.php/historia-del-ib/primera-graduacion.html>

<sup>8</sup> Si bien la facilidad de ensayos críticos RA-0 alcanzó por vez primera criticidad en 1958, el desarrollo del mismo continuó evolucionando hasta el año 1965, con el propósito de resolver problemas relativos al núcleo del reactor RA-1, y como modelo evolutivo para los proyectos RA-2 y RA-3 (años más tarde, en 1971 el RA-0 es trasladado a dependencias de la Universidad Nacional de Córdoba). Mientras que el RA-2 en sí fue el conjunto crítico requerido para el proyecto RA-3 y su desarrollo fue llevado a cabo entre 1959 y 1966, siendo operado como reactor experimental en física de reactores y daño por radiación, entre otras aplicaciones, a partir de 1967 y hasta 1983, cuando se procedió a ponerlo fuera de servicio por circunstancias que oportunamente abordaremos.



radioisótopos RA-3.<sup>9</sup> Durante ese período, además de diseñarse y fabricarse nuevos elementos combustibles (una evolución del desarrollo de 1957) para los reactores mencionados y de continuar la prospección y explotación minera del uranio, también se promueve estratégicamente la investigación y el desarrollo en metalurgia, se crean numerosos laboratorios, es construida la planta de lixiviación en pilas en Salta (1961) y la planta convencional de producción de concentrado de uranio en Mendoza (1965).

En este período se desarrollan la producción y las técnicas de aplicación de radioisótopos principalmente en medicina (también para la industria, la biología, la agronomía y la veterinaria), entre varias otras innovaciones. Las aplicaciones de radioisótopos en la industria fueron iniciadas en 1959 mediante la construcción de los primeros equipos de gammagrafía (radiografía industrial), el dictado de cursos de capacitación y la asistencia y asesoramiento a las empresas interesadas. La aplicación de trazadores radiactivos en gran escala se efectuó por primera vez en 1961.

En 1959 la CNEA inició un estudio sobre las posibilidades y conveniencias de producción nacional de agua pesada. Este proyecto concluye con el inicio de obras para la construcción en 1980 de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) en cercanías de la localidad de Arroyito, provincia del Neuquén, y su terminación y puesta en marcha en el año 1993. Si bien durante los años 1962 y 1963 la CNEA recolectó y procesó información sobre reactores nucleares de potencia de uranio natural y moderados y refrigerados con agua pesada, con la cual se determinó preliminarmente las características generales que debería tener el "Proyecto RA-4" (así fue denominado oportunamente lo que más tarde se conocería como "Proyecto Atucha", NO confundir con el reactor nuclear experimental RA-4 incorporado en 1971), fue a partir del año 1965 cuando la CNEA con medios propios elabora un estudio de factibilidad técnica y económica para la instalación de la primera central nuclear de potencia en el área Gran Buenos Aires-Litoral (Atucha I, construida entre 1968 y 1973), y a fines del año 1967 la CNEA firma un convenio con la Empresa Provincial de Energía de Córdoba por el cual la Comisión asumía la responsabilidad de efectuar un estudio de factibilidad con el objeto de instalar una central nuclear de potencia en la provincia de Córdoba (ese proyecto se hace realidad a partir del año 1974 cuando se inician las obras en Embalse). También en 1967 es inaugurado el Centro Atómico Ezeiza (CAE).

En materia de reactores nucleares de investigación el hito más destacable corresponde a la puesta en servicio en 1967 del reactor nuclear de producción comercial de radioisótopos RA-3; con este reactor, y con la Planta de Producción de Radioisótopos instalada en el CAE pocos años más tarde, el país lograría por primera vez sustituir el 100% de la importación de radioisótopos demandados por el mercado interno.

---

<sup>9</sup> El reactor RA-3 fue desarrollado entre los años 1961 y 1967.



En suma, a partir de la experiencia obtenida en la construcción del reactor RA-1, se llevaron a cabo los proyectos RA-0 y RA-2, siendo el RA-2 el conjunto crítico requerido para el proyecto RA-3, posibilitando todos estos desarrollos la formación de recursos humanos calificados durante los años '60 y '70, los cuales resultaron estratégicos e imprescindibles para el desarrollo de la primera central nucleoelectrónica del país: Atucha I. También es muy importante destacar que durante las dos etapas o períodos abordados el equipamiento científico y tecnológico que inicialmente fue suministrado por importación, durante esta segunda etapa en particular comenzó a ser suplido por proveedores locales, como resultado del avance de la industria nacional, que en gran medida obtuvo el asesoramiento tecnológico pertinente de organismos públicos como la CNEA y el INTI. Por último, la cantidad de laboratorios de la CNEA durante las dos etapas estudiadas aquí, ascendió a más de un centenar, los cuales se encontraban distribuidos en la Sede Central, y en los tres centros atómicos: CAB, CAC y CAE, sumado a ello la expansión del radio de acción de la CNEA abarcando gran parte del ámbito nacional mediante delegaciones, resultó en una labor muy beneficiosa para el desarrollo productivo de todo el país.

### **Período 1968-2002**

Entre 1968 y 2002 se desarrolla la tercera etapa de consolidación, la cual podemos subdividirla en dos períodos, el primero corresponde a **1968-1989** que da inicio a la consolidación del desarrollo nuclear argentino mediante la introducción de los primeros proyectos nucleoelectrónicos, a la consolidación en el diseño de reactores nucleares de investigación, a los proyectos de exportación de tecnología nuclear y a la estratégica dominación del ciclo de combustible nuclear; mientras que el segundo corresponde a **1990-2002** que a pesar de las reformas estructurales del Estado en el primer quinquenio de la década del '90 que tanto daño le hicieron al aparato productivo nacional, y en ese contexto a pesar también de las severas restricciones presupuestarias que condicionaron el desarrollo de la actividad nuclear en general, se pudo lograr algunos hitos de gran importancia.

**1968-1989.** En 1968 la CNEA firma contrato con la empresa alemana KWU, subsidiaria de Siemens AG, para la construcción en la localidad de Lima (partido bonaerense de Zárate) de la central nucleoelectrónica Atucha I. En 1969 la CNEA y la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) firman un convenio para trasladar en calidad de préstamo a la UNC la facilidad crítica RA-0 (el traslado se concreta en el año 1971). En 1970 comienza a operar en el CAE la Planta de Irradiación Semi Industrial, destinada a la provisión de servicios de irradiación sistemática de elementos, materiales y equipamiento en escala comercial o previa a la comercial, y a suministrar información técnica y económica para la construcción de irradiadores especiales, buscando el empleo más seguro y eficiente de las fuentes intensas de radiación. Ese mismo año finaliza el anteproyecto de obra civil del RA-5, mediante el cual la CNEA se introducirá en la física de los reactores térmico-rápidos. Al año



siguiente es iniciada la construcción del instrumental electrónico del control del reactor, sin embargo el proyecto fue abandonado al poco tiempo, y fue una verdadera pena, pues el proyecto RA-5 resultaba muy interesante como propuesta de reactor rápido experimental en materia de optimización y costos del consumo de combustible.

En 1971 alcanza estado crítico el reactor experimental RA-4 donado por la República Federal de Alemania a la CNEA y trasladado en calidad de préstamo por la Comisión a la Universidad Nacional de Rosario (UNR); ese mismo año comenzó el entrenamiento de los futuros operadores del reactor. En 1972 es creado el Programa de Investigación Aplicada por iniciativa del CAB y del Instituto Balseiro, que pocos años más tarde daría como principal resultado la creación de la prestigiosa empresa **Investigaciones Aplicadas (INVAP) Sociedad del Estado** (esta brillante idea fue concebida por el Dr. Conrado F. Varotto). En 1973 la CNEA firma contrato con la empresa pública canadiense AECL para la construcción en la provincia de Córdoba de la central nucleoelectrónica Embalse (las obras comienzan en 1974), ese mismo año finalizan las obras en la central nucleoelectrónica Atucha I y al año siguiente comienza su operación comercial; también en 1973 inicia su operación comercial la Planta de Producción de Radioisótopos en el CAE, diseñada y construida por la CNEA. En el año 1975 comienza el proyecto de creación de la empresa INVAP, el cual culmina oficialmente el 1º de Septiembre de 1976, radicada en la localidad de San Carlos de Bariloche, provincia de Río Negro.

En 1977 la CNEA presenta un programa para la construcción de seis reactores nucleares de potencia, a ser cumplimentado en un período de aproximadamente veinte años con el objeto de satisfacer las necesidades energéticas del país, cuyo aparato productivo en aquel momento dependía enormemente de los subproductos derivados del petróleo; sin embargo, dos años más tarde la Dictadura Militar reduce en el mencionado programa la cantidad a construir de reactores nucleares de potencia a cuatro. En 1978 la CNEA realiza su primera exportación de reactor nuclear experimental a Perú, cuyo núcleo correspondió temporalmente al del RA-0.

En 1979 el yacimiento uranífero Sierra Pintada (en San Rafael, provincia de Mendoza) se convierte en el principal centro de suministro nacional de uranio requerido para la fabricación de elementos combustibles, y también en 1979 es presentado el proyecto RA-7: nuevo reactor nuclear experimental y de producción de radioisótopos (proyecto cancelado en 1982). A fines de 1979 comienzan las obras de construcción del acelerador electrostático de iones pesados denominado Laboratorio TANDAR<sup>10</sup> en el CAC (este acelerador había sido encargo a fines de 1977 por la CNEA a la empresa Electrostatics International Inc. de USA).

En 1980 es creada en el ámbito de la CNEA la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A. (ENACE) y es celebrado el contrato con Siemens AG para la

---

<sup>10</sup> Laboratorio TANDAR: <http://www.tandar.cnea.gov.ar/>



construcción de la central nucleoelectrónica Atucha II, cuyas obras comienzan en 1981; también en 1980 es celebrado el contrato con la empresa suiza Sulzer Brothers para la construcción de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) en Arroyito, provincia del Neuquén (la planta experimental, desarrollada por la CNEA a comienzos de la década del '70, se ubicaba en el predio de Atucha, en Lima, Buenos Aires).

En 1981 es creada en el ámbito de la CNEA (por iniciativa del Dr. Edgardo Bisogni) la estratégica empresa Combustibles Argentinos S.A. (CONUAR) para la fabricación de elementos combustibles para reactores nucleares de potencia y de investigación en el CAE. En 1982 es inaugurada en la provincia de Córdoba la planta de producción de dióxido de uranio (UO<sub>2</sub>) requerida en la fabricación de elementos combustibles (en 1997 esta planta queda bajo gestión de la empresa Dioxitek S.A., perteneciente a la CNEA); también ese mismo año es inaugurado en el CAB el reactor nuclear de investigación RA-6, diseñado y construido por INVAP. En 1983 la CNEA anuncia haber logrado dominar la tecnología de enriquecimiento de uranio por el método de difusión gaseosa en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP) y es inaugurada la central nucleoelectrónica Embalse.

Es importante destacar la sabia estrategia adoptada por la CNEA a mediados de la década del '50 en haber considerado la independencia y soberanía tecnológica, y en ese sentido en haber ejecutado el diseño, desarrollo y fabricación de elementos combustibles para reactores nucleares de investigación y producción (propios y de exportación), la cual permitió a partir de 1982 cubrir las necesidades de elementos combustibles para las central nucleares de potencia.

En 1984 es creada en el ámbito de la CNEA la Fábrica de Aleaciones Especiales (FAE) para la producción de tubos de zircaloy requeridos para la fabricación de elementos combustibles en el CAE, y bajo el nombre FAE S.A. comienza a operar dos años más tarde. También en 1984 comienza su operación comercial la central nucleoelectrónica Embalse y es presentado el Proyecto CAREM en una conferencia de la Agencia Internacional de Energía Atómica llevada a cabo en Lima, Perú. En 1985 la CNEA realiza su primera exportación de Cobalto 60 a Canadá y comienza la producción comercial del Mo-99 en la Planta de Producción de Radioisótopos del CAE y es presentado el proyecto RA-9: nuevo reactor nuclear de producción de radioisótopos. En Septiembre de 1985, en el acelerador del Laboratorio TANDAR se empleó el primer haz de iones para experimentación, siendo inaugurado el Laboratorio al año siguiente.

En 1987 es cancelado el proyecto RA-9 y son demoradas las obras en Atucha II por falta de asignación presupuestaria y por desinterés del gobierno de turno.

En 1988 es inaugurado un segundo reactor nuclear de investigación en Perú desarrollado y exportado por la CNEA con la colaboración de INVAP como contratista principal. En 1989 es inaugurado un reactor nuclear de investigación en Argelia desarrollado y construido por INVAP con la colaboración de la CNEA en el



suministro de los elementos combustibles; también ese mismo año en el ámbito de la CNEA es creada la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería S.A. (ENSI) para la futura operación de la PIAP que se encontraba en etapa final de construcción.

Lamentablemente en estos años son cancelados el proyecto ARGOS 380:<sup>11</sup> reactor nuclear de potencia del tipo PHWR diseñado por ENACE, y el Proyecto TPA 300 de la CNEA (Tubos de Presión Argentino 300),<sup>12</sup> debido a fuertes restricciones presupuestarias y también al desinterés del gobierno de turno en expandir el parque de generación nucleoelectrónica, lo cual explica la paralización parcial de las obras en Atucha II en aquel momento.

**1990-2002.** En 1990 se logra reducir de 90% a menos del 20% el enriquecimiento de  $U^{235}$  empleado en el reactor de investigación y producción de radioisótopos RA-3; ese mismo año por convenio entre la CNEA, el Gobierno de la provincia de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo es creada la Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN) en la ciudad capital de Mendoza. En 1993 es inaugurada la PIAP, estratégico proyecto para la producción industrial de agua pesada iniciado en 1980. También en 1993 es inaugurado en el CAC el Instituto de Tecnología "Profesor Jorge Sábato".

Mediante el Decreto Nº 1540/1994, de Agosto de 1994, es creado el Ente Nacional Regulador Nuclear (ENREN), en el ámbito de la Secretaría de Energía de la Nación es creada la empresa Nucleoelectrónica Argentina S.A. (NA-SA) y se inicia un programa de privatización de las centrales nucleares de potencia,<sup>13</sup> en un contexto de reformas estructurales con programas de privatización del sector energético concretados mayoritariamente hacia 1992 (como las leyes de privatización de YPF, de Gas del Estado y del sector eléctrico, entre otros ejemplos).

Por consiguiente, la reforma estructural de la actividad nuclear no tuvo éxito en la privatización de las centrales nucleoelectrónicas, sin embargo desmembró a la CNEA mediante la creación de NA-SA respecto a la operación y mantenimiento de las centrales nucleares de potencia, además de paralizar completamente el Proyecto Atucha II y demorar el Proyecto CAREM, aumentó los costos de gestión por

---

<sup>11</sup> El ARGOS 380 fue un proyecto de central nucleoelectrónica del tipo PHWR de 343 MWe de potencia bruta, cuyo diseño conceptual e ingeniería básica habían sido desarrollados por ENACE entre 1986 y 1987 (véanse al respecto: CNEA, 1987; y; CNEA, 1988) por la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A. (ENACE, creada por la CNEA a mediados de 1980: 75% CNEA y 25% KWU-Siemens). En 1988 el proyecto ARGOS 380 recibió un premio otorgado por la sección Latinoamericana de la *American Nuclear Society* (CNEA, 1989) y en 1989 se procedió a cancelar por falta de asignación presupuestaria.

<sup>12</sup> El TPA 300 fue desarrollado a mediados de los años '80 por la CNEA gracias a la transferencia tecnológica recibida de AECL por el proyecto Embalse. El proyecto consistía en un reactor nuclear de potencia de 300 MWe del tipo tubos de presión. El proyecto alcanzó las ingenierías conceptual y básica, siendo también cancelado por falta de asignación presupuestaria.

<sup>13</sup> Decreto 1540/1994 de creación del Ente Nacional Regulador Nuclear (ENREN) y de Nucleoelectrónica Argentina S.A. (NA-SA), y de privatización de la generación nucleoelectrónica:

<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/10000-14999/13030/texact.htm>



duplicación de organismos de conducción y dispersó la toma de decisiones y de planeamiento del sector, sumado a ello un lamentable egreso, tanto voluntario como involuntario, de profesionales altamente calificados para los cuales el Estado Nacional había invertido notablemente en su formación de grado y de postgrado.

En 1995, debido a la paridad cambiaria estipulada a partir de 1991 por la Ley Nº 23.928 (Convertibilidad del Austral),<sup>14</sup> el costo del concentrado de uranio local superó en más del doble el precio de referencia internacional, razón por la cual las autoridades de turno de la CNEA decidieron erróneamente cerrar el yacimiento Sierra Pintada que desde los años '80 abastecía a CONUAR-FAE y Dioxitek en la fabricación de elementos combustibles para las centrales nucleares de potencia del país. Si bien el personal de la Comisión logró evitar el cierre del yacimiento, la actividad minera fue interrumpida por dichas autoridades de turno, provocando un progresivo aumento de la importación de uranio hasta depender 100% de la misma a partir del año 1999.

En 1996 es inaugurada una planta de producción de radioisótopos en Cuba, desarrollada y exportada por INVAP. En 1997 alcanza criticidad por primera vez el reactor nuclear experimental o conjunto crítico RA-8 en el CTP y opera hasta el año 2001; también en 1997 es sancionada la Ley Nº 24.804 de Actividad Nuclear y es creada la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) en sustitución del ENREN.<sup>15</sup> En 1998 es inaugurado un reactor nuclear de investigación y producción de radioisótopos en Egipto, desarrollado y exportado por INVAP con la provisión de los elementos combustibles por parte de la CNEA. En 1998 se firman contratos de exportación de Cobalto 60 a empresas del Reino Unido y de USA, y en 1999 se firma un contrato de exportación con una empresa de Bélgica.

En Septiembre de 1999 es promulgada la Ley Nacional 25.160 correspondiente al financiamiento del Proyecto CAREM,<sup>16</sup> sin embargo el financiamiento nunca fue ejecutado. En 2001 se efectúa un recambio de los elementos combustibles en la central nuclear de potencia Atucha I, que pasa a operar con U<sup>235</sup> enriquecido al 0,85%; este proceso de cambio de elementos combustibles con uranio natural por otros con uranio levemente enriquecido (ULE) es un desarrollo propio de la CNEA y se convierte en la primera experiencia comercial a nivel mundial.<sup>17</sup> En Abril de 2002 la CNEA crea el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS), y en Julio inicia la fabricación de blancos U<sup>235</sup> a menos del 20% a fin de evitar la detención de la producción de Molibdeno-99, proyecto ejecutado en 1999.

---

<sup>14</sup> Ley Nº 23.928 Convertibilidad del Austral:

<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/328/texact.htm>

<sup>15</sup> Ley Nº 24.804 de Actividad Nuclear, Autoridad Regulatoria Nuclear y privatizaciones:

<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/40000-44999/42924/texact.htm>

<sup>16</sup> Ley 25.160 Financiamiento Proyecto CAREM:

<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/60297/norma.htm>

<sup>17</sup> Para más información véase al respecto De Dicco (2013: 12 y 13) en el siguiente enlace:

[http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/020313\\_rad\\_tn.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/020313_rad_tn.pdf)



**Período 2003-Actualidad**

En 2003 comienza la etapa vigente de consolidación del desarrollo nuclear argentino. La CNEA inicia un período de reestructuración tendientes a reactivar la actividad nuclear en el país, a pesar de las todavía vigentes restricciones presupuestarias. En ese sentido, la CNEA y NA-SA forman un equipo conjunto de trabajo para elaborar un diagnóstico y en base al mismo formular un plan de terminación del Proyecto Atucha II. También ese mismo año la CNEA lleva a cabo un relevamiento de la situación ambiental en cada una de las instalaciones en las que desarrolla sus actividades, con el propósito de encarar las eventuales acciones requeridas para la corrección de pasivos ambientales y para planificar el estricto cumplimiento de las normas señaladas en la Declaración de Política Ambiental de la Comisión. Se formula también en colaboración con la FUESMEN la creación de un centro de diagnóstico nuclear de alta complejidad en Capital Federal que incluya en principio un tomógrafo por emisión de positrones y un ciclotrón. Y entre otros logros obtenidos durante esta primera gestión de reactivación de la actividad nuclear, se efectuaron las gestiones pertinentes para la reactivación de la PIAP con el objeto de contar con la disponibilidad nacional de producción de agua pesada para cubrir las necesidades de la central nuclear Atucha II una vez que sus obras civiles y montajes electromecánicos hayan finalizado (CNEA, 2004: 12).

Para el año 2004 las restricciones presupuestarias arrastradas desde la década del '90 habían sido parcialmente superadas gracias a la recuperación económica iniciada el año anterior. Veamos a continuación algunos de los principales logros obtenidos en 2004. Continuaron los trabajos conjuntos entre la CNEA y NA-SA respecto al Proyecto Atucha II. Se logra repotenciar de 5 MWt a 10 MWt al reactor de investigación y producción comercial de radioisótopos RA-3. Continuaron los desarrollos de elementos combustibles de muy alta densidad demandados por el mercado internacional para la conversión a ULE en reactores nucleares de investigación y producción, así como también el desarrollo de los elementos combustibles para la futura central nuclear de potencia Atucha II. Se reactivan las investigaciones concernientes al desarrollo nacional de separación isotópica por difusión gaseosa en el CTP, con la colaboración del CAB y de INVAP. Es ejecutada la primera etapa del proyecto conjunto formulado entre la CNEA y el FUESMEN el año anterior para la construcción de un centro de diagnóstico nuclear en Capital Federal. Otros logros importantes se destacan en, por citar algunas, las siguientes áreas: gestión de residuos radiactivos, radioisótopos y radiaciones, investigación en ciencias básicas y de la ingeniería, proyectos derivados de la tecnología nuclear (CNEA, 2005: 11-15). Cabe destacar que en Mayo de 2004 el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios presenta el Plan Energético Nacional (en su versión 2004-2008), en el cual establece entre varias medidas a implementarse en el corto y mediano plazo un cronograma de inversiones preliminar para reactivar las obras en Atucha II paralizadas completamente desde 1994. A partir de entonces, la CNEA comienza a formular los lineamientos



propositivos para la reactivación del Plan Nuclear Argentino, el cual es lanzado en Agosto de 2006.

En 2005 la CNEA y NA-SA continuaron su trabajo conjunto respecto a la ingeniería, montajes electromecánicos y puesta en marcha pendientes de finalización en el proyecto Atucha II y también comenzaron a delinear el programa de modernización y extensión de vida útil de la central nuclear de potencia Embalse. La CNEA obtuvo importantes avances en la ingeniería del circuito de alta presión a ser empleada en los ensayos de los mecanismos de seguridad y control que serán utilizados en el prototipo del reactor nuclear de potencia CAREM, así como también adquirió la bomba principal a ser empleada en el mencionado circuito y eventualmente en el prototipo en desarrollo. La CNEA inicia un nuevo proceso licitatorio para el desarrollo del proyecto de prospección minera del uranio en Cerro Solo, provincia de Chubut, así como también se logran importantes avances en la reactivación del Complejo Minero Fabril San Rafael, provincia de Mendoza. Otros importantes logros son obtenidos en las áreas de aplicaciones nucleares (radioisótopos y radiaciones, medicina nuclear y combustibles para reactores nucleares de investigación y de potencia), de seguridad nuclear y ambiente, y de investigación y aplicaciones no nucleares, entre otras (CNEA, 2006: 11-18).

**El 23 de Agosto de 2006 la CNEA y el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios presentan la Reactivación de la Actividad Nuclear y con ello el Plan Nuclear Argentino recupera el rumbo perdido a fines de la década del '80.<sup>18</sup>**

Por consiguiente, NA-SA ejecuta los servicios de contratación para la reactivación de obras civiles en Atucha II, continúan los trabajos conjuntos entre la CNEA y NA-SA respecto a la ingeniería, montajes electromecánicos y puesta en marcha de la nueva central nuclear de potencia, así como también ambas firman un convenio para la reactivación de la capacidad tecnológica de los recursos profesionales de la CNEA, se firma un convenio entre NA-SA y ENSI para el suministro de 600 toneladas de agua pesada para Atucha II, la CNEA comienza la fabricación de los elementos combustibles para esta central nuclear de potencia en sus instalaciones de CONUAR y FAE en el CAE con la colaboración de Dioxitek en Córdoba, y continua el programa conjunto entre la CNEA y NA-SA para la modernización y extensión de vida útil de la central nuclear de potencia Embalse. La CNEA crea la Gerencia CAREM para la coordinación de tareas de finalización de las diversas etapas de ingeniería, para la formulación del cronograma de ejecución, en la formación de recursos humanos, la intervención en las actividades construcción, montajes y puesta en marcha del prototipo CAREM-25 y en la intervención del diseño y desarrollo de los elementos combustibles requeridos para este proyecto. Cabe destacar en este caso la finalización de la ingeniería del circuito de alta presión. También en 2006 se consolidó el Plan Estratégico Nacional de Reactores Experimentales y de Producción: RA-0, RA-1, RA-3, RA-4 y RA-6. Se inicia el proyecto de cambio del núcleo del combustible del reactor nuclear de investigación RA-6 a ULE en menos del 20% y los

---

<sup>18</sup> Véase al respecto el discurso del ministro de Planificación Federal Arq. Julio De Vido del 23/08/2006: [http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id\\_noticia=359](http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id_noticia=359)



cambios pertinentes en los sistemas del reactor que permitan aumentar la potencia del mismo de 500 KWt a 3 MWt. La CNEA suministra a INVAP los elementos combustibles para el reactor nuclear multipropósito exportado por esta empresa a Australia, así como también es completado el proceso de transferencia tecnológica para la producción de radioisótopos solicitada por INVAP para su exportación a Australia. Continúa el plan de reactivación de prospección uranífera en distintas áreas del territorio nacional así como también la reactivación del Complejo Minero Fabril San Rafael en la provincia de Mendoza. Continuaron los trabajos de reactivación en el CTP, particularmente los concernientes al desarrollo nacional del método de separación isotópica por difusión gaseosa mediante un concepto avanzado de compresores multiflujos (Proyecto SIGMA). Importantes logros fueron obtenidos en todas las áreas de la CNEA (2007: 11-16). Sobre fines de ese año por convenio firmado entre la CNEA y la Universidad Nacional de Gral. San Martín es inaugurado en el CAE el Instituto de Tecnología Nuclear "Dan Beninson". Cabe destacar que a partir de 2006 comienza un serio y ambicioso programa de becas en los institutos de formación de la CNEA para intentar recuperar la reproducción de profesionales altamente calificados que había menguado significativamente entre 1990 y 2003, este programa continúa en la actualidad y ha sido muy exitoso.<sup>19</sup>

En Enero de 2007 comienza el proceso de reactivación de las obras civiles y montajes electromecánicos en la central nucleoelectrónica Atucha II (abandonados en 1994). En Abril es inaugurado en Australia el reactor nuclear multipropósito desarrollado y exportado por INVAP, con la colaboración de la CNEA en el diseño y fabricación de los elementos combustibles y en la transferencia tecnológica para la producción de radioisótopos. En Marzo la CNEA presenta el desarrollo de un nuevo combustible híbrido (mezcla de hidrógeno y GNC) para el transporte público de pasajeros, proyecto llevado a cabo por el IEDS de la CNEA en colaboración con la Universidad de Buenos Aires y la Universidad Tecnológica Nacional, financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y por la empresa pública Energía Argentina S.A. (ENARSA). En Mayo es inaugurado el Centro de Diagnóstico Nuclear (CDN) creado por la CNEA y la FUESMEN en Capital Federal. En Agosto la CNEA anuncia el descubrimiento de la mina de uranio "Don Otto" en la provincia de Salta; este plan de la CNEA incluye también el cateo de uranio en Catamarca, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Chubut, Río Negro y Santa Cruz, el cual continuó desarrollándose a lo largo de los siguientes años. Entre otros logros obtenidos en 2007, podemos destacar la continuación de tareas concernientes al desarrollo y construcción del prototipo CAREM-25, la colaboración conjunta entre la CNEA y la empresa pública NA-SA para el programa de modernización y extensión de vida útil de la central nuclear de potencia Embalse, las tareas concernientes al acondicionamiento adecuado para la futura puesta en marcha del mock-up de la Planta Piloto de Enriquecimiento de Uranio en el CTP (proyecto SIGMA), y por supuesto continuaron obteniéndose logros importantes en las áreas de aplicaciones de la tecnología nuclear (radioisótopos y radiaciones, medicina nuclear y

---

<sup>19</sup> Para más información sobre el Programa de BECAS de la CNEA, consultar los siguientes enlaces: [http://www.cnea.gov.ar/ambito\\_educativo/becas.php](http://www.cnea.gov.ar/ambito_educativo/becas.php) y <https://becas.cnea.gov.ar>



combustibles nucleares), seguridad nuclear y ambiente (seguridad nuclear y radiológica, gestión ambiental, energía y desarrollo sustentable, gestión de residuos radiactivos, remediación ambiental de la minería del uranio), investigación y tecnologías no nucleares (investigación en ciencias básicas y tecnologías no nucleares derivadas de la tecnología nuclear), entre otras (CNEA, 2008: 11-16).

En 2008 continuaron las tareas concernientes al desarrollo y construcción del prototipo del reactor nuclear de potencia CAREM, así como también la fabricación del prototipo de elemento combustible y la correspondiente firma del convenio con la empresa CONUAR S.A. para la fabricación del mismo y la adquisición de uranio y del equipamiento requerido para el desarrollo de las pastillas. Continuaron las tareas correspondientes al acondicionamiento electromecánico para la puesta en marcha del mock-up de la Planta Piloto de Enriquecimiento de Uranio en el CTP (Proyecto SIGMA). Comienzan los trabajos de acondicionamiento de diques de efluentes en el Complejo Minero Fabril San Rafael en Mendoza y continuaron las tareas de prospección uranífera en distintas provincias del territorio nacional. Importantes logros fueron obtenidos en todas las áreas de la CNEA (2009: 11-14).

En Enero de 2009 el reactor nuclear de investigación RA-6 alcanza estado crítico luego de habersele practicado una nueva configuración al núcleo del reactor para que pueda operar empleando ULE a menos del 20%, sumado a ello el aumento de potencia. En Junio de 2009 es colocada la tapa del recipiente de presión del reactor de Atucha II. En Julio se inicia la fabricación de contenedores nacionales para el transporte de radioisótopos. En Septiembre la CNEA, NA-SA y AECL firman convenios vinculados al desarrollo de los reactores nucleares de potencia del tipo CANDU-6 y del ACR-1000. En Noviembre es promulgada la Ley Nacional 26.566 que declara de interés nacional la extensión de vida útil de la central nucleoeléctrica Embalse, la construcción del prototipo de la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM) y la construcción de una cuarta central nuclear de alta potencia.<sup>20</sup> También en Noviembre los gobiernos de Argentina y Brasil firmaron cartas de intención para que la CNEA comience el suministro inmediato a Brasil de 150 Ci semanales del radioisótopo Molibdeno 99 (Mo-99), empleado para el diagnóstico y tratamiento de contra el cáncer, con el cual podrá cubrirse un tercio de la demanda del mercado brasilero; dicho suministro continuó durante los siguientes años. Importantes logros fueron obtenidos en el Proyecto CAREM, en el Proyecto de Enriquecimiento de Uranio, así como también las diferentes áreas de la CNEA (2010: 11-14).

En Junio de 2010 la CNEA anuncia que el inicio del proyecto para diseñar y construir un nuevo reactor nuclear multipropósito: RA-10, y se inician los análisis conjuntos con Brasil para la definición de un reactor de similares características para cubrir las necesidades de la demanda brasilera de radioisótopos, a ser construido entre ambos países. En Septiembre la CNEA y el gobierno de la provincia de Entre Ríos firman un convenio para la instalación del tercer Centro de Medicina Nuclear del país (los otros

---

<sup>20</sup> Ley 26.566: <http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/160000-164999/162106/norma.htm>



dos están localizados en la ciudad de Mendoza y en Capital Federal). Ese mismo año se aceleran los trabajos de modernización y extensión de vida útil en la central nucleoelectrónica Embalse, continúan las tareas concernientes al desarrollo y construcción del prototipo CAREM-25 y al proyecto de reactivación de la Planta Piloto de Enriquecimiento de Uranio en el CTP y es presentado por la CNEA su Plan Estratégico 2010-2019.<sup>21</sup> Importantes logros fueron obtenidos en las diferentes áreas de la CNEA (2011: 11-18).

En Enero de 2011 el CAB-CNEA diseña los primeros elementos combustibles para reactores nucleares del tipo PWR que serán empleados en el proyecto CAREM y también en ese mismo mes los gobiernos de Argentina y de Brasil anuncian la construcción conjunta de dos reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos: RA-10 para Argentina y RMB para Brasil.<sup>22</sup> En Agosto se realiza en el CAC la Primera Jornada de Haces de Neutrones en el ámbito del proyecto RA-10, nuevo reactor nuclear multipropósito de Argentina.<sup>23</sup> En Septiembre finaliza el proceso de reactivación de las obras civiles y montajes electromecánicos en la central nuclear de potencia Atucha II y se inicia el proceso de puesta en marcha. En Diciembre es inaugurada la planta de producción de radioisótopos en Egipto, desarrollada y exportada por INVAP con participación de la CNEA; también en Diciembre la CNEA completó la entrega de los 451 elementos combustibles requeridos para el núcleo del reactor de potencia Atucha II, los cuales fueron fabricados por CONUAR y FAE en el CAE, con el UO<sub>2</sub> aportado por Dioxitek. Importantes logros fueron obtenidos en las diferentes áreas de la CNEA (2012a).

En Enero de 2012 la CNEA presentó un nuevo embalaje para el transporte de soluciones acuosas de uranio enriquecido al 20% el cual diseñó en colaboración con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). En Junio es completada la entrega de las 600 toneladas de agua pesada por parte de ENSI a NA-SA para la central nuclear de potencia Atucha II. En Julio la CNEA y el gobierno de la provincia de Entre Ríos comienzan la planificación correspondiente para la instalación del tercer Centro de Medicina Nuclear del país; también se inicia un proyecto de similares características para la ciudad de San Carlos de Bariloche. En Octubre se realiza la carga de agua desmineralizada para la prueba de presión de los sistemas del circuito primario del reactor y moderador de Atucha II. En Diciembre se inicia el proceso de carga de los 451 elementos combustibles requeridos para el núcleo del reactor de Atucha II que habían sido suministrados por la CNEA exactamente un año antes.

---

<sup>21</sup> Véanse al respecto De Dicco (2013 y 2010) y el enlace correspondiente al Plan Estratégico de la CNEA: [http://www.cnea.gov.ar/pdfs/plan\\_estragetico/PLAN\\_ESTRATEGICO\\_CNEA.pdf](http://www.cnea.gov.ar/pdfs/plan_estragetico/PLAN_ESTRATEGICO_CNEA.pdf)

<sup>22</sup> Las exportaciones de Mo-99 de la CNEA a Brasil desde 2009 hasta 2011 cubrieron algo más del 30% de la demanda del mercado brasilero. Otros proveedores de Mo-99 de Brasil son Canadá y Sudáfrica.

<sup>23</sup> Véanse al respecto los siguientes enlaces de la CNEA y del CAB, respectivamente:

[http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id\\_noticia=423](http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id_noticia=423)

<http://fisica.cab.cnea.gov.ar/hacesra10/index.php/inicio>



Durante el primer trimestre de 2013 se destacan la finalización exitosa de la primera prueba en caliente y prueba de presión del circuito primario y también la finalización de carga de los 451 elementos combustibles en Atucha II, prosiguiendo a continuación la sincronización a la red eléctrica nacional y a la carga de las 600 toneladas de agua pesada suministradas por la PIAP en Junio del año pasado; se estima alcanzar estado crítico en el reactor de Atucha II en Julio de 2013 y durante los meses siguientes aumentar progresivamente la potencia hasta alcanzar el máximo bruto de 745 MWe. El apoyo brindado por el Ministerio de Planificación Federal y por la CNEA y su correspondiente cadena de valor a NA-SA han sido vitales para la reactivación y conclusión de esta estratégica obra energética.

En Marzo de 2013 la CNEA presentó los avances del Proyecto RA-10, concerniente al nuevo reactor nuclear multipropósito a ser construido en el CAE durante los próximos cuatro años. INVAP completó la ingeniería básica del reactor y firmó un nuevo convenio con la CNEA para la realización de la ingeniería de detalle, también se completó la revisión crítica de diseño de la obra civil y finalizó el estudio de emplazamiento del proyecto en el CAE. En Mayo de 2013 el Gobierno de Brasil anunció que contratará la ingeniería básica para la construcción del Reactor Multipropósito Brasileiro (RMB) por un monto superior a los AR\$ 60 millones a la empresa INVAP.

Con respecto al Proyecto CAREM, concluyó la etapa de excavación para el edificio del reactor y fueron reciclados los edificios existentes en el predio, se firmó un contrato con NA-SA para la obra civil del edificio del reactor que demandarán a partir de Mayo de este año un plazo de 30 meses (es decir, las obras deberían finalizar en Noviembre de 2015), se completó el diseño del recipiente de presión y se llamó a licitación pública nacional (se prevé emitir la orden de compra en Junio de 2013), fueron completados y entregados al gobierno de la provincia de Buenos Aires el estudio de impacto ambiental y el plan de gestión ambiental, y también se espera firmar este año el contrato con CONUAR para el suministro de los elementos combustibles; se completaron los estudios de macro localización de un módulo CAREM de 150 MWe para ser instalado en la provincia de Formosa.

Entre otros proyectos y actividades del sector nuclear, podemos destacar que se estima para Junio de este año tener a pleno funcionamiento las instalaciones de la Planta Piloto de Enriquecimiento de Uranio del CTP; en ese sentido, fueron completados y verificados el funcionamiento del sistema de carga y descarga de hexafluoruro de uranio y el montaje de la planta de efluentes, así como también el equipamiento de última generación en los laboratorios del CTP; para el proyecto de enriquecimiento por centrifugación se completó el banco de pruebas de ingeniería básica para separación isotópica de gases no nucleares por centrifugación; y para el proyecto de enriquecimiento por láser finalizó la construcción del laboratorio de espectroscopía láser en el CAB.



## Caracterización de los reactores nucleares de investigación y producción propiedad de la CNEA

A lo largo de 40 años (1957-1997) la CNEA incorporó siete reactores nucleares: RA-1, RA-0, RA-2, RA-3, RA-4, RA-6 y RA-8, de los cuales cuatro de ellos son conjuntos críticos para experimentación y entrenamiento, siendo los tres restantes para investigación (uno de estos es empleado principalmente para la producción comercial de radioisótopos). A excepción del RA-2, que fue desmantelado durante la década del '80, los demás reactores se encuentran operativos en la actualidad. El RA-4 es el único reactor que no fue diseñado y construido en Argentina, ya que el mismo fue desarrollado por la empresa alemana Siemens AG y donado por la entonces República Federal de Alemania en 1971.

Reactores de investigación y producción de la CNEA				
Unidad	Año 1 <sup>o</sup> Criticidad	Potencia Térmica	Ubicación	Propósito principal
RA-1	1958	40 KWt	Centro Atómico Constituyentes	Investigación y formación de recursos humanos.
RA-0	1958 *	1 Wt	Universidad Nacional de Córdoba	Conjunto Crítico para formación de recursos humanos y difusión de la actividad nuclear.
RA-2	1966	30 Wt	Centro Atómico Constituyentes	Conjunto Crítico Experimental <b>(desmantelado)</b> para Proyecto RA-3.
RA-3	1967	10 MWt	Centro Atómico Ezeiza	Producción comercial de radioisótopos e investigación.
RA-4	1971	1 Wt	Universidad Nacional de Rosario	Conjunto Crítico para formación de recursos humanos y difusión de la actividad nuclear.
RA-6	1982	3 MWt	Centro Atómico Bariloche	Investigación y formación de recursos humanos.
RA-8	1997	10 Wt	Complejo Tecnológico Pilcaniyeu	Conjunto Crítico Experimental del reactor de potencia CAREM.
RA-10	2017 / 2018	30 MWt	Centro Atómico Ezeiza	Producción comercial de radioisótopos e investigación.
Nota 1. Todos los reactores operativos emplean en la actualidad U <sup>235</sup> a <20% de enriquecimiento, a excepción del RA-8: <3,4%.				
Nota 2. Las designaciones RA-5, RA-7 y RA-9 corresponden a proyectos que por diversos motivos fueron cancelados en su primera etapa de ejecución.				
Fuente: De Dicco (2010).				

En este capítulo se caracterizará brevemente la historia operativa de cada uno de estos reactores nucleares propiedad de la CNEA, así como también los servicios prestados por los mismos durante el año 2011 según la correspondiente Memoria Anual de la CNEA. Por último se procederá a caracterizar el Proyecto RA-10, nuevo reactor nuclear argentino del tipo multipropósito.

\* Alcanzó criticidad por primera vez en el Centro Atómico Constituyentes (CAC).

## Reactor RA-1

El reactor nuclear de investigación RA-1,<sup>24</sup> fue construido íntegramente por la CNEA en 1957 (incluyendo la fabricación de los elementos combustibles) sobre la base de diseño de un reactor nuclear del tipo Argonaut.<sup>25</sup> El RA-1 alcanzó por primera vez criticidad el 17 de Enero de 1958 a las 6.25 am hora local y fue inaugurado tres días más tarde. La fabricación de los elementos combustibles (EECC) estuvo a cargo de la División Metalurgia del Departamento de Reactores Nucleares del Centro Atómico Constituyentes (CAC) de la CNEA, y el UO<sub>2</sub> enriquecido fue importado de USA.<sup>26</sup>

Respecto al diseño y fabricación de los EECC para el RA-1 en 1957, quisiéramos compartir la siguiente reseña histórica:

*"Al comenzarse los trabajos de metalurgia se contaba con escasos datos. Ellos eran las características del combustible, las dimensiones del elemento (a excepción del espesor de recubrimiento), los porcentajes de polvo de Al y de U, el peso total del elemento (...). Fue necesario realizar una larga serie de cálculos para poder estimar las condiciones de trabajo en los EE.UU. Para realizar los ensayos de laboratorio hubo que transformar una máquina de ensayo CIFIC de 10 t. en una prensa de extrusión, para lo cual se acopló un horno hecho en el Laboratorio y diversas piezas diseñadas convenientemente".<sup>27</sup>*

Fue en el mes de Mayo de 1957 cuando noticias provenientes de USA respecto a cómo se trabajaba allí en la obtención de EECC sirvieron para corroborar los cálculos estimados oportunamente y comprobar que las apreciaciones elaboradas eran las correctas. Cabe señalar que la fabricación de tubos y tapas de aluminio a cargo de la CNEA, en aquel momento, no lograba suplir las necesidades y por tal motivo se recurrió a compensar esto con la industria privada local, que tuvo que desempeñar esfuerzos sin precedente para lograr alcanzar la calidad buscada por la CNEA, y no fue para nada una faena sencilla. Al promediar Agosto de 1957 se iniciaron los ensayos industriales, y luego de analizar los defectos de las primeras muestras y por consiguiente elaborar cálculos y modificaciones en varios factores, diseños, entre otros aspectos, se obtuvieron resultados óptimos en los meses de Noviembre y Diciembre.

---

<sup>24</sup> **Características del RA-1:** [http://www.cnea.gov.ar/proyectos/RA1\\_caracteristicas.php](http://www.cnea.gov.ar/proyectos/RA1_caracteristicas.php)

**Facilidades de irradiación del RA-1:** [http://www.cnea.gov.ar/proyectos/RA1\\_facilidades.php](http://www.cnea.gov.ar/proyectos/RA1_facilidades.php)

Véase también De Dicco (2008c).

<sup>25</sup> El reactor nuclear **Argonaut** fue construido por el Argonne National Laboratory (ANL) en 1956 y puesto en estado crítico el 9 de Febrero de 1957, proyectado para el entrenamiento de reactores, física nuclear y experiencias de laboratorio de ingeniería nuclear. Se trata de un reactor experimental o conjunto crítico de baja potencia (de 1 a 10 KWt). Más data sobre el reactor **Argonaut** puede consultarse en el siguiente enlace: <http://www.ne.anl.gov/About/reactors/training.shtml>

<sup>26</sup> Vale decir que se alcanza criticidad 36 días después de la recepción del UO<sub>2</sub> procedente de USA. También cabe destacar que se trató de la primera exportación de uranio enriquecido de USA para la fabricación de EECC en otro país.

<sup>27</sup> CNEA (1958). *Boletín Informativo N° 2, Año II, Febrero de 1958*. Sede Central. Buenos Aires. Pág. 4.



*"En el ínterin, muestras de los ensayos realizados fueron llevadas a los Estados Unidos. El informe recibido al respecto expresaba que los elementos combustibles hechos en la República Argentina eran superiores a los fabricados en los EE.UU., tanto en el terminado como en la distribución homogénea del polvo".<sup>28</sup>*

El RA-1 fue el primer reactor nuclear construido en Argentina y el primero construido por un país del Hemisferio Sur con recursos propios,<sup>29</sup> y es por ello que se considera al mismo un hito fundamental en nuestra historia nuclear. En aquel momento el país requería la disponibilidad de determinados radioisótopos que debido a su corta vida media se hacía imposible su importación, y en ese sentido un reactor nuclear de investigación como el RA-1 se convertía en la respuesta indicada para suplir esta necesidad. En efecto, en este reactor se produjeron los primeros radioisótopos nacionales para aplicaciones médicas e industriales. Por otra parte, existía otra necesidad, concerniente al estudio del uranio metálico producido por la CNEA, procedente de yacimientos nacionales de uranio, para su empleo tanto en reactores nucleares de investigación como en futuros reactores nucleares de potencia, y el RA-1 respondía también a satisfacer dicho requerimiento.

Ahora bien, existían dos formas de concretar el proyecto RA-1. Una de ellas era adquirirlo en el extranjero, como lo hizo Brasil en 1957, y la otra era fabricarlo en el país, es decir, en instalaciones de la CNEA con mano de obra argentina y mayoritariamente con componentes fabricados localmente. Como se ha visto, se optó finalmente por esta segunda opción.

Para tal propósito cabe destacar la vital importancia que tuvo el apoyo de la entonces United States Atomic Energy Commission (US AEC) para obtener información técnica del reactor Argonaut desarrollado por el Argonne National Laboratory (ANL) en 1956, y a su vez de la excelente predisposición del ANL para que científicos y técnicos argentinos examinaran ese reactor nuclear de última generación. Sin embargo, vale decir, el mayor mérito correspondió a los

---

<sup>28</sup> *Ibíd.*, pág. 7.

<sup>29</sup> El reactor IEA-R1 alcanzó estado crítico el 16/09/1957, convirtiéndose en el primer reactor nuclear de investigación instalado en Brasil y efectuando la primera criticidad del Hemisferio Sur, pero la diferencia con el reactor RA-1 construido por la CNEA con recursos humanos argentinos es que el reactor IEA-R1 fue importado por el Gobierno de Brasil a la empresa estadounidense Babcock & Wilcox Co. y los EECC a la United States Atomic Energy Commission (US AEC). Esto fue resultado del apoyo del Gobierno de USA en el marco del "*Programa Átomos para la Paz*". En ese sentido, el primer reactor nuclear construido por Brasil con mano de obra propia debe aclararse que fue la facilidad crítica IPEN/MB-01 de 100 Wt, construido por el Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) con financiamiento de la Marinha do Brasil, cuyo desarrollo comenzó en 1982 y culminó seis años más tarde cuando el reactor alcanzó estado crítico el 09/11/1988, es decir, casi 31 años después que Argentina con el RA-1. Para fines de 1988 Argentina había construido 5 reactores nucleares para uso local (RA-1, RA-0, RA-2 y RA-3 construidos por la CNEA y RA-6 construido por INVAP Sociedad del Estado), sumado a estos la exportación de 3 reactores nucleares: 2 a Perú y 1 a Argelia (en el caso del reactor de Argelia, para esa fecha habían concluido las obras civiles y al año siguiente alcanzaba criticidad; este reactor fue además el primero exportado por INVAP).

profesionales de la CNEA que en menos de un año construyeron un reactor nuclear de investigación y los EECC requeridos para su puesta en marcha.

Durante sus primeros años de operación, el RA-1 fue empleado con el propósito de realizar irradiaciones para estudios de daños por radiación, dosimetría y estudios de física experimental, así como también para la formación de recursos humanos que resultarían fundamentales en los proyectos que continuaron más adelante, como fuera mencionado precedentemente y también en la Introducción del presente informe. Su última modernización fue realizada en el año 1991; a excepción de los elementos combustibles que corresponden a la última modificación de 1967.<sup>30</sup>

Entre los servicios prestados por el RA-1, se destacan:<sup>31</sup>

- *Ensayos experimentales e irradiación de muestras para mediciones de parámetros nucleares.*
- *Pruebas de detectores nucleares.*
- *Calibración de equipos de radioprotección .*
- *Ensayos y calibración de dosímetros de campo mixto .*
- *Irradiaciones de dosimetría para la terapia por captura neutrónica en Boro.*
- *Irradiación de células en cultivos y hámster para estudios de terapia por captura neutrónica en Boro (BNCT).*
- *Irradiaciones de muestras para determinar los daños por radiación en metales, celdas solares, cables, fibra óptica, gomas, etc.*
- *Irradiación de papeles de filtro para determinar contaminación ambiental.*
- *Irradiación de cabellos y sangre para aplicaciones médicas.*
- *Irradiaciones de muestras para determinar la abundancia y composición isotópica de metales pesados (contaminantes de agua, alimentos, etc.).*
- *Ensayos y calibración de nuevos canales para instrumentación y control.*
- *Irradiación de radionucleidos trazadores para la industria petrolera.*
- *Irradiaciones para terceros privados o estatales.*
- *Actividades docentes: perfeccionamiento de profesionales y técnicos.*
- *Actividades de divulgación: a estudiantes universitarios, terciarios y secundarios que visitan el reactor.*

Usuarios de la CNEA:

- *Física experimental de Reactores.*
- *Termohidráulica.*
- *Análisis por Activación.*
- *Materiales (Daños por Radiación).*
- *Laboratorio de Energía Solar.*
- *Dosimetría.*

---

<sup>30</sup> [http://www.cnea.gov.ar/investigacion\\_desarrollo/reactores\\_de\\_investigacion.php](http://www.cnea.gov.ar/investigacion_desarrollo/reactores_de_investigacion.php)

<sup>31</sup> Ibídem.



- *Radioquímica.*
- *Radiobiología.*
- *Instrumentación y Control.*
- *Control de Procesos por PC.*

Usuarios Externos:

- *Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).*
- *Laboratorio de Licenciatura en Física.*
- *Laboratorios de Universidades.*
- *Laboratorios privados.*
- *Industria privada.*

Actualmente el RA-1 se encuentra operativo y continúa emplazado en el CAC, con una potencia de 40 KWt y utilizando  $U^{235}$  a menos del 20%, está reflejado con grafito y se emplea agua desmineralizada como moderador y refrigerante. Los EECC son barras cilíndricas formadas por una mezcla de  $UO_2$  y carbono envainado en tubos de aluminio; fueron fabricados en el país por las empresas CONUAR S.A. y FAE S.A. con la colaboración de Dioxitek S.A..

Durante el año 2011 se llevaron a cabo en el reactor RA-1 los siguientes servicios y tareas de asistencia, capacitación y divulgación (CNEA, 2012a: 34):

- *Para la Central Nuclear Atucha II: prueba de funcionamiento de detectores nucleares e inicio de la ingeniería de conexonado, calibración, gestión y especificación de compras para la prueba de estanqueidad de la esfera de la Central.*
- *Irradiaciones, entre otras, para daño por radiación, estudios de degradación de aceites de la Central Nuclear Embalse, irradiaciones en estados subcríticos y crítico con determinación de parámetros cinéticos y mediciones de flujo neutrónico asociadas.*
- *Desarrollo y construcción de un medidor del tiempo de caída de las barras de control.*
- *Mediciones en distintos estados subcríticos utilizando el método de Alfa-Feynman con dos detectores neutrónicos para determinar, en cada estado subcrítico, la constante de evolución de los neutrones instantáneos, la eficiencia de los detectores y el tiempo muerto de las cadenas de medición.*
- *Realización de experiencias de aproximación a crítico, calibración de barras y "rod-drop" para capacitación el marco de la Carrera de Especialización Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible que dicta el Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson.*

También en 2011 se efectuaron "(...) las calibraciones y mantenimiento anuales y posteriores ensayos pre-operacionales del reactor, y el ejercicio de simulación del Plan de Emergencia, y se continuó la actualización de la documentación mandataria



*requerida por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)" de nuestro país. En relación a la infraestructura, "se bajó el techo de la consola y se cambió la iluminación, se construyó el recinto para la torre de enfriamiento y sala de efluentes, y se cambiaron las luces de emergencia" (CNEA, 2012a: 34).*

## **Reactor RA-0**

El RA-0 es una facilidad de ensayos críticos o conjunto crítico que alcanzó criticidad por vez primera en el CAC en 1958. Durante los primeros años de la década del '60 este reactor experimental evolucionando en su diseño para el testeado de los parámetros nucleares de los reactores RA-1, RA-2 y RAEP,<sup>32</sup> en reemplazo de los cálculos teóricos. Por consiguiente, en el RA-0 se efectuaron estudios para el recambio de combustibles nucleares del RA-1 y también se llevó a cabo la determinación de las masas críticas, excesos de reactividad, efectividad de los sistemas de control, entre otras faenas, del conjunto crítico RA-2 y del RAEP. Una vez concluidos los proyectos mencionados, en el año 1969 la CNEA firmó un convenio con la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) para trasladar al RA-0 (en calidad de préstamo) en el año 1971 a instalaciones de la UNC, debido a que esta facilidad crítica permitía realizar experimentos sin inconvenientes y a muy bajo costo de instalación y de operación, representando ello un atractivo potencial para universidades públicas del país.

En efecto, la UNC empleó al RA-0 para la formación de nuevos técnicos y profesionales en energía nuclear, requeridos para el proyecto de la central nucleoelectrónica Embalse, cuya construcción se inicia en Abril de 1974. Por tal motivo, el reactor opera en la UNC hasta 1974, año en que sus técnicos son absorbidos por el Proyecto Embalse.

En el año 1977 los gobiernos de Argentina y de Perú firmaron un convenio por el cual la CNEA suministraría al Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) un reactor nuclear experimental de "potencia cero" (es decir, genera de 1 a 10 Wt). En ese sentido, el núcleo del RA-0 formó parte del reactor nuclear desarrollado íntegramente por la CNEA y exportado a Perú (RP-0, inaugurado en 1978),<sup>33</sup> y se implementó un programa de capacitación para asegurar el aprovechamiento integral del mismo. Luego de permanecer más de una década en Perú, el núcleo del reactor RA-0 retorna a la UNC en 1990, con el propósito de volver a formar recursos humanos altamente calificados en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> El RAEP (Reactor Argentino de Experimentación y Producción) es una denominación correspondiente al Proyecto RA-3, reactor de investigación y producción de radioisótopos puesto en estado crítico sobre fines de 1967 en el CAE, que será abordado más adelante en el presente Informe.

<sup>33</sup> Cabe destacar que en el proyecto de exportación a Perú del RP-0, desarrollado por la CNEA, INVAP colaboró con los sistemas informáticos, electrónicos y mecánicos de control del reactor.

<sup>34</sup> [http://www.cnea.gov.ar/investigacion\\_desarrollo/reactores\\_de\\_investigacion.php](http://www.cnea.gov.ar/investigacion_desarrollo/reactores_de_investigacion.php)



Actualmente es utilizado para el entrenamiento de técnicos y profesionales del área de energía nuclear, para el entrenamiento de personal de otras instalaciones nucleares, así como también para la verificación y validación de instrumentación destinada a instalaciones nucleares desarrollada por los grupos de trabajo del reactor RA-0.

El RA-0 tiene una potencia de 1 Wt, razón por la cual no necesita de un sistema de refrigeración, y emplea como EECC una mezcla en peso de 70% de  $\text{UO}_2$  enriquecido al 20% de  $\text{U}^{235}$ .

Las principales actividades desarrolladas en este reactor durante el año 2011 fueron las siguientes (CNEA, 2012a: 34):

- *Desarrollo de una actualización del Sistema Informático de Análisis de Datos (SIAD) e instalación del mismo en el reactor.*
- *Diseño básico de un sistema digital para medición de temperaturas del reactor.*
- *Desarrollo de un simulador del reactor, completamiento del diseño del software y del simulador e inicio de la etapa de validación.*
- *Entrenamiento (prácticas sobre física de reactores) para técnicos y profesionales de la Central Nuclear Embalse.*
- *Realización de trabajos prácticos requeridos por la cátedra Física III de la UNC en el marco del Módulo Física Nuclear.*
- *Dictado del curso Metodología y Aplicación de Radionucleídos para profesionales de la salud.*
- *Participación en la Red de Educadores de Física donde se presentó un simulador del reactor en escala para uso en escuelas secundarias, y además se realizó una exposición de divulgación sobre energía y ambiente.*

## Reactor RA-2

El reactor nuclear experimental RA-2 inició su etapa de diseño muy tempranamente, en 1959. En su diseño surgió la necesidad de diferenciarse del tipo de barras de control y seguridad empleadas en el RA-1 (1957-1958), para ello fue de gran ayuda los resultados obtenidos en el RA-0, y por consiguiente y debido a la configuración general del conjunto crítico RA-2 se optó por el accionamiento de las barras desde el sótano ubicado debajo del núcleo. Toda esta tarea fue proyectada, diseñada y desarrollada por la CNEA entre 1959 y 1966 en instalaciones construidas en el CAC para tal propósito. El 19 de Julio de 1966 el reactor RA-2 alcanza estado crítico. Su potencia térmica máxima oscilaba entre 10 W y 30 W (intervalos cortos), y empleaba  $\text{U}^{235}$  al 89,8%.

Ahora bien, ¿cuál fue el propósito de diseñar y construir esta facilidad crítica o conjunto crítico experimental? Para estudiar experimentalmente las configuraciones



del núcleo del futuro reactor RA-3 para producción comercial de radioisótopos e investigación, la CNEA diseñó y construyó el reactor RA-2 en instalaciones del CAC, que como fuera mencionado antes, comenzó a operar en 1966. En Mayo del año siguiente se llevó a estado crítico un símil del núcleo del RA-2 con el objetivo de verificar la configuración de los elementos combustibles, que una vez completado exitosamente el ensayo, posibilitó acelerar los trabajos en el RA-3, siendo éste último inaugurado sobre fines de 1967. Durante su último año de operación (1983) se efectuaron en el RA-2 experiencias varias de calibración de barras, mediciones con técnicas de ruido y efectos especiales (CNEA, 1984: 42). La potencia requerida para este propósito fue de 1 Wt.

Lamentablemente el 23 de Septiembre de 1983 ocurrió un accidente en el RA-2, causando la primera víctima mortal por sobreirradiación en la historia de la CNEA. Por este motivo, el Departamento Protección Radiológica del CAC-CNEA adoptó un conjunto de medidas tendientes a la evaluación radiológica y a la asistencia médica del personal involucrado, siendo las acciones principales las que se listan a continuación (CNEA, 1984: 24):

- 1. Procesamiento de los dosímetros de área y personales.*
- 2. Obtención de información para la reconstrucción del accidente y la evaluación dosimétrica.*
- 3. Medición de actividad inducida en las instalaciones del CAE, con el fin de estimar las dosis y su distribución corporal.*
- 4. Evaluación dosimétrica del personal afectado, en base a la información obtenida.*
- 5. Definición de la asistencia médica del personal involucrado y ejecución y supervisión de la misma.*

También participó el Grupo de Intervención en Situaciones Anormales del Departamento Inspectorado del CAC-CNEA, llevando a cabo las siguientes tareas (CNEA, 1984: 26 y 27):

- 1. Se monitoreó a las personas presentes en el RA-2, inmediatamente después del accidente, hasta la llegada de los grupos de apoyo del Departamento Protección Radiológica.*
- 2. Se efectuaron mediciones de exposición inmediatamente después del accidente, tanto en el perímetro del edificio del RA-2 como en su interior, las que se continuaron realizando en forma programada. Además se hicieron mediciones de concentración de radionucleidos en el aire y de contaminación superficial.*
- 3. Se efectuaron diversas tareas planificadas (tomas de muestras de agua del núcleo que fuera drenada al tanque previsto para ello, visualización del estado del núcleo, bloqueo del flotante).*



Por esta razón el reactor RA-2 quedó inmediatamente fuera de servicio y por consiguiente se efectuaron todas las pericias de pertinencia.<sup>35</sup> Durante el período 1984-1989 se llevó a cabo exitosamente el desmantelamiento de la facilidad crítica RA-2 en sus instalaciones del CAC-CNEA. El edificio que albergaba el reactor se encuentra disponible para su empleo sin restricciones (CNEA, 2008b).

No obstante, debe destacarse que el RA-2 ha resultado un hito científico y tecnológico para la CNEA y el país, debido a que el mismo permitió el desarrollo inmediatamente posterior del RA-3, primer reactor de producción comercial de radioisótopos diseñado y construido en el Hemisferio Sur.

Ahora bien, la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, por su sigla en inglés) clasifica, según la Escala Internacional de Accidentes Nucleares (INES, por sigla en inglés), a los eventos nucleares en *incidentes* y *accidentes*.<sup>36</sup>

Los *incidentes* comprenden una escala de 1 a 3, mientras que los *accidentes* comprenden una escala de 4 a 7; cuanto mayor es el nivel superior es la severidad del evento. El evento ocurrido en el RA-2 fue determinado como accidente nivel 4: "*accidente con consecuencias locales*" ("*accident with local consequences*") o "*accidente sin riesgo significativo fuera de la facilidad o sitio*" ("*accident without significant off-site risk*").

En el nivel 4 se habían producido previamente al caso del reactor RA-2 (1983), un evento nivel 4 en la central nucleoelectrica de Saint-Laurent en Francia (1980) y otro en la Planta de Reprocesamiento de Windscale en el Reino Unido (1973); posteriormente a los tres casos mencionados, ocurrió un evento también de nivel 4 en la Planta de Reprocesamiento de Tokaimura en Japón (1999). Con respecto a los eventos superiores, los de nivel 5 corresponden al caso de la central nucleoelectrica de Three Mile Island en USA (1979) y al caso del reactor de Windscale en el Reino Unido (1957), en nivel 6 sólo se ubica el caso de la Planta de Reprocesamiento de Kyshtym en la ex URSS -hoy Rusia- (1957) y en nivel 7 se encuentran los casos de la central nucleoelectrica de Chernobyl en la ex URSS -hoy Ucrania- (1986) y el del complejo nucleoelectrico de Fukushima Daiichi en Japón (2011). Los accidentes mencionados ocurrieron en facilidades nucleares, mientras que los correspondientes a fuentes de radiación y de transporte en la categoría de accidentes ocurrieron en nivel 4 uno en Bélgica (2006) y otro de nivel 5 ocasionado en Brasil (1987).

---

<sup>35</sup> Véase también el IN 83-66 **Fatality at Argentine Critical Facility** del 25/05/1984 emitido por la Office of Inspection and Enforcement dependiente del United States Nuclear Regulatory Commission (US NRC): <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0829/ML082970366.pdf> y también el documento titulado **A Review Criticality Accidents**, publicado en Mayo de 2000 por el US NRC (página 103): <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0709/ML070930301.pdf>

<sup>36</sup> Véase al respecto: <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/ines.asp>



### Reactor RA-3

El reactor nuclear de investigación y de producción comercial de radioisótopos RA-3 fue desarrollado entre 1961 y 1967. El objetivo primario fue construir un reactor de mayor potencia a sus antecesores para incrementar la producción de radioisótopos de aplicaciones médicas e industriales con el propósito de satisfacer las necesidades del país. Se trató de un objetivo sumamente estratégico, y mucho más aun la decisión de diseñarlo y construirlo en el país con know-how propio en lugar de adquirirlo en el exterior, ya que ello posibilitó la expansión de las industrias base, la formación de recursos humanos altamente calificados, en desarrollo tecnológico y en ingeniería nuclear, investigación científico-tecnológica, etc.

Los radioisótopos pueden ser empleados en la industria, también en el agronomía y veterinaria, en la investigación científica y tecnológica y, fundamentalmente, en la medicina. Los radioisótopos y las fuentes de radiación son empleados con propósitos de diagnóstico para la obtención de datos sobre el estado de salud de los pacientes, o con fines terapéuticos para el tratamiento de tumores malignos. El reactor nuclear RA-3 tiene la capacidad para producir un amplio rango de isótopos que sirven a la investigación médica en el desarrollo de radiofármacos para tratamientos y diagnósticos por imágenes.

El RA-3 fue inaugurado en el CAE el 20 de Diciembre de 1967 con una potencia de 0,5 MWt, durante el año 1968 se completaron detectores de radiación y blindajes y el segundo circuito de refrigeración, y en el año 1969 el reactor comenzó a operar regularmente a potencia máxima de 2,5 MWt. En 1970 se inició la producción de radioisótopos y al año siguiente el reactor operaba regularmente a 4 MWt de potencia, realizándose pruebas a 5 MWt y 6 MWt. Hacia el año 1971 se logra cubrir cerca del 30% de la demanda interna de radioisótopos con producción nacional de radioisótopos, en 1972 se logra sustituir casi el 60% de la importación, y para 1973 el 80% de la demanda interna es cubierta con producción nacional. El autoabastecimiento se consigue por primera vez en 1975, es decir, casi 8 años después de alcanzar por primera vez criticidad el reactor RA-3 y cerca de un año y medio más tarde de haber iniciado su operación la Planta de Producción de Radioisótopos y los nuevos laboratorios construidos en el CAE.

La Planta de Producción de Radioisótopos, diseñada y construida por la CNEA, comienza a operar a principios del año 1973 con cinco celdas de producción, con el propósito de producir radioisótopos de aplicaciones mayoritariamente médicas, siendo los de mayor consumo en 1973 los siguientes:



Radioisótopos de mayor consumo en distintas formas químicas en Argentina, año 1973		
Radioisótopo	Nº de Pedidos	Actividad (Ci)
I-131	3.403	106,17
Au-198	410	70,94
Tc-99m	1.035	25,70
P-32	448	7,73
Hg-197	4	7,00
Hg-203	394	4,83
Mo-99 - Tc-99m	23	2,92
Sn-113	33	1,55

Fuente: Radicella, Renato (1975: 6-8).

Cuando se analiza la distribución del consumo nacional de radioisótopos en 1973, se observa que el 70% de la actividad utilizada en el país se empleaba con fines médicos asistenciales (50% diagnóstico médico y 20% terapéutica médica), 20% hidrología y sedimentología, 4% investigaciones en hospitales, 3% industria, 1% otras investigaciones en laboratorios, 1% agricultura y 1% restante corresponde a otras esferas (Radicella, 1975: 10). Para 1973, con la puesta en marcha de nuevas instalaciones y laboratorios en el CAE, que todavía no habían logrado alcanzar su capacidad máxima operativa, se había logrado cubrir el 80% de la demanda nacional de radioisótopos; para el año 1975 la demanda de radioisótopos del país había logrado cubrirse con producción nacional (Radicella, 1975: 11), como fuera mencionado precedentemente.

El RA-3 continúa operativo en su emplazamiento original, que es el Centro Atómico Ezeiza (CAE) de la CNEA. El enriquecimiento de  $U^{235}$  fue disminuido del 90% a uranio levemente enriquecido (ULE) en menos del 20% en 1990, con el objeto de cumplir con el "Programa Internacional de Reducción de Enriquecimiento para Reactores de Investigación" (nuestro país es miembro del Programa desde el año 1978). En 2004 su potencia fue incrementada de 5 a 10 MWt. Su principal función es la producción comercial de radioisótopos, pero también es empleado para la formación de recursos humanos y para la investigación: análisis por activación, calificación de elementos combustibles, estudios de daños por irradiación y pruebas de instrumentación. Entre las características generales del RA-3 se destacan: reactor tipo pileta de 10 MWt y flujo neutrónico de  $10^{14}$  neutrones/cm<sup>2</sup>seg, posee un tanque cilíndrico rodeado por blindaje de hormigón, un núcleo del tipo placas asentado sobre una grilla en el fondo del tanque, encontrándose sobre el tanque los mecanismos de control para el manejo de las barras.



Ahora bien, la generación de electricidad mediante reactores nucleares de potencia y la producción de radioisótopos para diversas aplicaciones, fundamentalmente médicas, son los aportes más importantes de la tecnología nuclear con fines pacíficos. En el caso de la CNEA, su principal aporte a la sociedad es actualmente la producción comercial de radioisótopos en sus instalaciones del CAE (reactor nuclear RA-3, planta de producción y ciclotrón de producción). Estos radioisótopos son: Molibdeno-99 (principal radionucleído de aplicación en medicina nuclear), Iodo-131, Fósforo-32, Samario-153 y Cromo-51,<sup>37</sup> cuya producción en las instalaciones del CAE satisfacen en un 100% las necesidades del mercado interno; sumado a ello las exportaciones de sus excedentes (en el caso del <sup>99</sup>Mo exportado a Brasil, desde 2009 se cubre aproximadamente el 30% de sus necesidades). Las exportaciones de <sup>99</sup>Mo y de <sup>131</sup>I a países de América Latina representaban para el año 2011 entre el 10% y el 15% de la producción nacional (CNEA, 2012a: 45). Cabe señalar, según la CNEA (2012a: 33) que los principales radioisótopos producidos en el reactor RA-3 en 2011 fueron los siguientes: <sup>99</sup>Mo 17.179 Ci (10.129 Ci para el mercado nacional y 7.050 Ci para la exportación); <sup>131</sup>I 1.110.715 mCi; <sup>51</sup>Cr 57 mCi; <sup>153</sup>Sm 1.900 Ci; y; <sup>32</sup>P 65 mCi.<sup>38</sup>

En relación a los servicios brindados por el RA-3 en 2011:

*"En 2011 el reactor RA-3 operó 46 períodos semanales, con un total de aproximadamente 3.927 horas a potencia para producción de radioisótopos, llevándose a cabo las siguientes irradiaciones y experiencias" (CNEA, 2012a: 33):*

- *Irradiación de 552 miniplacas de uranio enriquecido al 20% para producción de Mo-99 e Iodo-131.*
- *Irradiación de 148 blancos de forma convencional para producción, análisis por activación y experiencias; mediciones de física, desarrollos y actividades científicas y académicas.*
- *Irradiación de blancos cilíndricos de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (blancos para productos de fisión).*

*"En el marco del Proyecto Terapia por Captura Neutrónica en Boro (BNCT) se realizaron irradiaciones en la columna térmica con un total de 61 experiencias que involucraron 239 irradiaciones y aproximadamente 90 horas de irradiación a potencia de trabajo y que dieron lugar a presentaciones en congresos internacionales, y nacionales y publicaciones" (CNEA, 2012a: 33).*

También en 2011 se efectuaron las siguientes actividades para mejora de la infraestructura y nuevos desarrollos (CNEA, 2012a: 33):

<sup>37</sup> Símbolos de los radioisótopos mencionados:

Mo-99 o <sup>99</sup>Mo: Molibdeno-99; <sup>131</sup>I: Iodo-131; <sup>32</sup>P: Fósforo-32; <sup>153</sup>Sm: Samario-153; y; <sup>51</sup>Cr: Cromo-51.

<sup>38</sup> Donde Ci significa curie, unidad de radioactividad, y mCi significa milicurie: 10<sup>-3</sup> Ci.

Mo-99 o <sup>99</sup>Mo: Molibdeno-99; <sup>131</sup>I: Iodo-131; <sup>32</sup>P: Fósforo-32; <sup>153</sup>Sm: Samario-153; y; <sup>51</sup>Cr: Cromo-51.



- En el marco del Proyecto "Dispositivo de Irradiación", se realizó la ampliación del recinto de planta baja del reactor para la ubicación del Laboratorio de Instrumentación asociado al Proyecto.
- Modificación del circuito de caldera instalándose una caldera eléctrica de 210 KW para provisión del sistema de deshumidificación del recinto del reactor, de calefacción y de agua caliente.
- Confección de la ingeniería básica y de detalle del pliego para la provisión de un nuevo blindaje para la columna térmica del reactor en el marco del programa de gestión de vida del mismo, y para la construcción del Taller de Mantenimiento y la ampliación del primer piso.
- Elaboración de la ingeniería de detalle de los reflectores de grafito en la que se han tenido en cuenta las condiciones presentes de empleo del reactor, lo que permitirá el reemplazo de los actuales en uso desde el cambio de núcleo a bajo enriquecimiento a principios de los años '90.

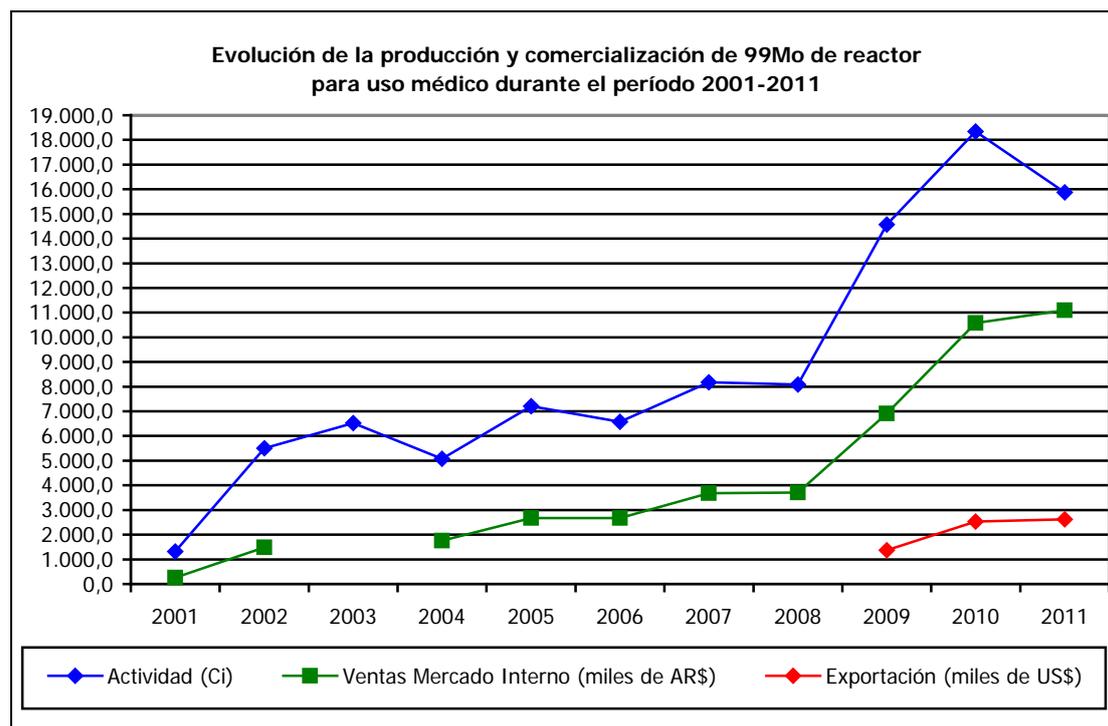
Respecto a la producción y comercialización de radioisótopos de reactor para uso médico, abordaremos en la siguiente tabla y gráfico la evolución durante el período 2001-2011 del caso correspondiente al <sup>99</sup>Mo:

Evolución de la producción y comercialización de <sup>99</sup> Mo de reactor para uso médico durante el período 2001-2011				
Año	Actividad en Ci	Facturación en AR\$ y en US\$	V% respecto año anterior	
			(Ci)	(AR\$)
2001	1.313,0	AR\$ 262.600	s/d	s/d
2002	5.508,0	AR\$ 1.490.793	319,5	467,7
2003	6.521,0	s/d	18,4	s/d
2004	5.080,8	AR\$ 1.752.376	-22,1	s/d
2005	7.206,0	AR\$ 2.668.160	41,8	52,3
2006	6.574,0	AR\$ 2.673.378	-8,8	0,2
2007	8.182,0	AR\$ 3.677.133	24,5	37,5
2008	8.081,0	AR\$ 3.710.096	-1,2	0,9
2009	14.567,0	AR\$ 6.912.177 US\$ 1.370.820	80,3	86,3
2010	18.339,9	AR\$ 10.574.713 US\$ 2.532.912	25,9	53,0
2011	15.878,5	AR\$ 11.089.433 US\$ 2.622.311	-13,4	4,9

Nota. Los valores expresados en AR\$ corresponden a ventas realizadas en el mercado interno, mientras que los valores expresados en US\$ corresponden a las actividades de exportación.

Fuente: elaboración propia en base a datos de CNEA (2012a, 2011, 2010, 2009, 2008a, 2007, 2006, 2005, 2004, 2003 y 2002).





Fuente: elaboración propia en base a datos de CNEA (2012a, 2011, 2010, 2009, 2008a, 2007, 2006, 2005, 2004, 2003 y 2002).

Cabe destacar que la CNEA es el principal productor mundial de  $^{99}\text{Mo}$ , y desde el año 2002 Argentina es el primer país en haberlo efectuado mediante el empleo de blancos de ULE a menos del 20%, tecnología desarrollada por la CNEA y posteriormente exportada a otros países.

#### Reactor RA-4

El RA-4 es una facilidad crítica o conjunto crítico para experimentación, formación de recursos humanos y difusión de la actividad nuclear. Opera con 1 Wt de potencia y emplea  $\text{U}^{235}$  al 20%, se encuentra emplazado en el Centro Universitario Rosario, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) en calidad de préstamo de la CNEA.

De acuerdo con la FCEIA-UNR,<sup>39</sup> a través de un convenio entre la CNEA y la UNR en Noviembre de 1969 se entrega el Reactor Nuclear Siemens SUR 100 donado por la República Federal de Alemania. En Julio de 1971 llega al país el reactor en el barco mercante alemán, de propulsión nuclear, Otto Hahn. En Septiembre de 1971 se pone a estado crítico en el CAC de la CNEA, iniciando el entrenamiento del personal de la UNR. El reactor fue trasladado a Rosario en Octubre de 1972, llevándose a estado crítico en los meses posteriores.

<sup>39</sup> Website del RA-4: <http://reactorra4.angelfire.com>

La disponibilidad de uso del Reactor, desde esa fecha hasta la actualidad, ha sido permanente, sin registrar fallas ni accidentes de gravedad, teniendo como principal objetivo la docencia, la investigación y los servicios a terceros.

En el año 2011 se desarrollaron en el RA-4 las siguientes actividades (CNEA, 2012a: 34 y 35):

- *Incorporación de un grupo de investigación del Departamento de Control Automático de la Escuela de Ingeniería Electrónica.*
- *Irradiación de un microcontrolador, un semiconductor Mosfet, un fotodiodo PIN y un circuito integrado CMOS para verificación de daño por irradiación.*
- *Realización de trabajos prácticos requeridos por las cátedras de Física Experimental IV y V de la carrera de Licenciatura en Física de la UNR, en particular la irradiación de muestras para su posterior análisis con los espectrómetros gamma.*
- *Análisis por activación de una sal de molibdeno irradiada y estudio de espectros de muestras irradiadas.*
- *Realización de experiencias con el método Alfa-Feinmann de "rod-drop".*
- *En el ámbito de la capacitación y docencia, dictado, entre otros, de los seminarios "Fisión Nuclear y Energía Nuclear" en la localidad santafecina de Firmat y "Aplicaciones de la Energía Nuclear" en la FCEIA-UNR.*

## **Reactor RA-6**

El RA-6 es un reactor nuclear para investigación y formación de recursos humanos. El objetivo principal era diseñar y construir un reactor para satisfacer las necesidades de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro de la CNEA. El diseño, construcción y puesta en marcha estuvo a cargo de INVAP Sociedad del Estado, bajo la responsabilidad directa del Centro Atómico Bariloche (CAB) de la CNEA, en cuyo predio se encuentra emplazado. Las obras comenzaron el 1º de Septiembre de 1978 y la primera criticidad del reactor se produjo el 23 de Septiembre de 1982; ese mismo año fue inaugurado y en 1983 quedó operativo. Su potencia original era de 500 KWt y empleaba U<sup>235</sup> al 90%.

Según manifiesta el CAB-CNEA, en el año 2002 se acondicionó una de sus facilidades de irradiación como "quirófano radiológico" para ser empleado en el novedoso tratamiento oncológico experimental llamado BNCT ("*Boron Neutron Capture Therapy*": "*Terapia por Captura de Neutrones en Boro*").

En el marco de la ampliación de la capacidad académica del reactor y de la necesidad de contar con un reactor alternativo para la producción de radioisótopos de uso médico, se comenzó en 2005 y se continuó a lo largo de 2006 y 2007 el proceso de conversión del núcleo del RA-6 de alto a bajo enriquecimiento, es decir: de 90% a menos del 20%; y de aumento de potencia del mismo a 3 MWt con el



objeto de mejorar las prestaciones académicas, científicas y de medicina nuclear que se efectúan en el RA-6. En 2007 se realizaron las siguientes tareas pertinentes al proceso mencionado de conversión del núcleo (CNEA, 2008a: 23 y 24):

- *Planificación de la puesta en marcha y de las mediciones de los parámetros físicos correspondientes.*
- *Redacción de procedimientos utilizando la técnica de ruido neutrónico, para su utilización en la puesta en marcha del reactor con núcleo reconvertido a bajo enriquecimiento.*
- *Cálculos neutrónicos de celda y de núcleo.*
- *Diseño e ingeniería de detalle del difusor de entrada al tanque de decaimiento.*
- *Análisis de los resultados de los experimentos de pérdida de carga en componentes del núcleo.*
- *Estudios de la distribución de caudales en el núcleo y de la distribución de presiones en el primario.*
- *Construcción de un dispositivo experimental para la medición del coeficiente de transferencia de calor en el núcleo y realización de mediciones preliminares.*
- *Cálculo termohidráulico del nuevo núcleo a 3 MW.*
- *Identificación y análisis de eventos iniciantes para el “Informe de Seguridad”.*
- *Análisis de las secuencias accidentales en base de diseño y más allá de base de diseño que surgen del análisis de los eventos iniciantes postulados para el “Informe Preliminar de Seguridad”.*
- *Propuesta de experiencias para determinar la validez de las correlaciones existentes para calcular la transferencia de calor en régimen de transición.*
- *Análisis comparativo de diferentes modelos para los coeficientes de dispersión atmosférica y su efecto en el cálculo de dosis del accidente de bloqueo de canales.*
- *Diseño, especificación y fabricación de los conjuntos tenedores para control de reactividad.*

Cabe destacar que los nuevos elementos combustibles están basados en los denominados de alta densidad ( $4.8 \text{ grU/cm}^3$ ), formados por una matriz de Siliciuro de Uranio y con un enriquecimiento de 19,7%. Fueron diseñados y fabricados por la CNEA considerando la experiencia previa de los desarrollados para el reactor OPAL exportado por INVAP a Australia.

Lo anterior se llevó a cabo porque Argentina decidió convertir al reactor RA-6 a bajo enriquecimiento (LEU) y por consiguiente el uranio de alto enriquecimiento (HEU) debía ser devuelto a Estados Unidos de América. Cabe destacar que en 1980 la CNEA en colaboración con el Argonne National Laboratory de USA habían finalizado los estudios correspondientes a la conversión de reactores que empleaban HEU para que utilicen LEU (CNEA, 1981: 32 y 34).



Para Enero de 2009 se había logrado la puesta a crítico del reactor RA-6,<sup>40</sup> convirtiéndose en el primer reactor nuclear argentino que funciona con combustibles de siliciuro de uranio de bajo enriquecimiento diseñados y fabricados por la CNEA. También se llevó a cabo el completamiento de la etapa de puesta en marcha del reactor a una potencia de 1 MWt, de las modificaciones pendientes en la instalación y de la documentación faltante a fin de cumplimentar los requerimientos necesarios para la correspondiente solicitud de la Licencia de Operación a la ARN; y la ampliación de la sala para tratamiento de pacientes oncológicos con la BNCT para el tratamiento de pacientes oncológicos (CNEA, 2010: 11).

En 2010 se alcanzó la potencia nominal de 1 MWt y la obtención de la Licencia de Operación del reactor por parte de la ARN. También se finalizó el montaje de las celdas calientes, circuito de pruebas, caja de guantes y laboratorio radioquímica para el estudio de la producción de Mo-99 mediante una nueva técnica, en el marco del Proyecto conjunto entre la CNEA e INVAP: “Sistema de producción de radioisótopos médicos”.

En 2011 se fijó como prioridad la utilización del reactor para cumplir con el contrato CNEA-INVAP referente al Proyecto MIPS (Sistema de Producción de Radioisótopos Médicos), sin descuidar todas aquellas tareas de investigación, desarrollo y aplicación que se realizan cada año y las de su principal objetivo: la formación de recursos humanos.

En ese marco, se desarrollaron en 2011 las siguientes actividades (CNEA, 2012a: 33 y 34):

- *Realización de tareas relacionadas con la irradiación de soluciones homogéneas del Proyecto MIPS, su procesamiento en celda caliente y, en muchos casos, el envío de muestras de Mo-99 purificado a Estados Unidos de América. El Proyecto se completó en Diciembre de 2011 con el cumplimiento exitoso de todo lo programado y sin inconvenientes significativos.*
- *Irradiación de diversas muestras geológicas y biológicas en porta muestras ubicados en cercanías del núcleo o mediante el sistema neumático.*
- *Caracterización de la nueva facilidad para el BNCT realizándose pruebas de las cadenas de medición, medición de flujo de neutrones, medición de distribución de dosis gamma y neutrones en el interior del "bunker".*
- *En relación con la facilidad para neutrografía, completamiento del desarrollo de la ingeniería, seguimiento de la fabricación y montaje de blindajes y equipo en el conducto de irradiación y comienzo de su caracterización.*
- *En el ámbito educativo, realización de experiencias de aproximación a crítico por barras y escalones de potencia, medición de actividad primario/resinas, calibración de barra fina, prácticas de protección radiológica y mantenimiento de reactores, irradiación de muestras en combustibles para*

---

<sup>40</sup> Véase al respecto: [http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id\\_noticia=161](http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id_noticia=161)

*determinar espadas, entre otras actividades, para la formación de alumnos de las carreras del Instituto Balseiro. Además, se llevó a cabo el dictado de clases teóricas y realización de experiencias para el Curso de Seguridad Nuclear de la ARN.*

El año pasado se cumplió el 30º aniversario del RA-6, reactor que resultó una excelente contribución al desarrollo nuclear argentino y al desarrollo de proyectos de exportación de alto valor agregado. En efecto, el RA-6 fue la vidriera al mundo que permitió a INVAP años más tarde la exportación de los reactores RP-10 a Perú (inaugurado en 1988), NUR a Argelia (inaugurado en 1989), ETTR-2 a Egipto (inaugurado en 1998) y OPAL a Australia (inaugurado en 2006),<sup>41</sup> así como también al desarrollo del RA-8 (inaugurado en 1997) y al actual diseño y desarrollo del RA-10, ambos para la CNEA.

### **Reactor RA-8**

El RA-8 es una facilidad crítica o conjunto crítico experimental que se encuentra emplazado en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP) en la provincia de Río Negro, próxima a la localidad de San Carlos de Bariloche. El diseño y construcción fue encargado por la CNEA a INVAP con el propósito de realizar verificaciones de cálculo neutrónico aplicables al diseño del reactor nuclear de potencia CAREM de 25 MWe, testear la calidad de diseño de los elementos combustibles y del diseño del núcleo en un modelo físico a escala real que serían empleados en el mencionado reactor nuclear de potencia. El RA-8 alcanzó estado crítico el 16 de Junio de 1997 y fue operado hasta el año 2001. Según la CNEA, desde el año 2002 se encuentra en estado operativo pero en reserva. En 2007 se elaboró un proyecto de reacondicionamiento general de esta instalación general (CNEA, 2008: 24) para que la misma sea puesta en marcha cuando surja la necesidad de hacerlo, y para tal propósito se llevaron a cabo tareas generales de reparación durante los años 2008<sup>42</sup> y 2009.<sup>43</sup>

Características generales del RA-8:

- Propósito: Conjunto Crítico del reactor nuclear de potencia CAREM.
- Combustible: uranio levemente enriquecido al 1,8% y al 3,4% en U<sup>235</sup> en barras cilíndricas.
- Potencia: 10 Wt.

---

<sup>41</sup> Consultar el siguiente link de INVAP: <http://www.invap.com.ar/es/area-nuclear-de-invap.html>

También consultar el artículo **La proyección nuclear argentina hacia el exterior** (De Dicco, 2008a).

<sup>42</sup> CNEA (2009: 23).

<sup>43</sup> Ibídem.



El RA-8 es un reactor de pileta abierta y "de potencia cero"<sup>44</sup> de uranio levemente enriquecido moderado por agua liviana. Su núcleo consiste en un arreglo regular de barras cilíndricas individuales que poseen en su interior pastillas de dióxido de uranio de diferente enriquecimiento. Genera sólo 10 watts de calor, con un máximo de 100 al estar en plena operación. Con tan poco desprendimiento térmico no necesita de un circuito complejo de refrigeración. La débil convección del agua de la pileta alcanza para refrigerar el núcleo (CNEA, 1998).

Los elementos combustibles que empleó el RA-8 durante el período 1997-2001 son los que activarán el futuro reactor nuclear de potencia CAREM: mazos de caños cilíndricos de zircaloy rellenos de pastillas de cerámica de dióxido de uranio levemente enriquecido. Ese material tiene una proporción del isótopo U<sub>235</sub>, que va – según el lugar del núcleo– del 1,8% al 3,4% del inventario total de uranio. Los elementos de control del CAREM, destinados a absorber excesos de neutrones, fueron también testeados en el RA-8 (CNEA, 1998).

### **Nuevo reactor nuclear de investigación y producción de radioisótopos RA-10**

El primer antecedente sobre la necesidad de construir un nuevo reactor para producción de radioisótopos para complementar al exitoso reactor RA-3, corresponde al proyecto RA-7. Se trataba de un reactor nuclear de alto flujo neutrónico, que emplearía uranio natural y como moderador y refrigerante agua pesada, cuyo propósito era el ensayo de materiales y de elementos combustibles, así como también la producción comercial de radioisótopos, presentado por la CNEA en 1979.<sup>45</sup> En 1980 continuaron los trabajos sobre el proyecto RA-7, completándose la ingeniería conceptual en un 75% hacia 1981.<sup>46</sup> En 1982 la CNEA había finalizado la ingeniería conceptual de la instrumentación y control, así como también los estudios de factibilidad, tiempos y costos del reactor RA-7,<sup>47</sup> sin embargo el proyecto no prosperó durante los años siguientes.

Pero el principal antecedente del Proyecto RA-10 se remite al Decreto del Poder Ejecutivo Nacional Nº 1.777 firmado en Septiembre de 1985 por el entonces presidente Raúl Alfonsín, el cual autorizaba a la CNEA construir un nuevo reactor nuclear de producción de radioisótopos para ser emplazado en la provincia de Córdoba, denominado oportunamente RA-9, proyecto cuya iniciativa corresponde aclarar pertenece al Dr. José Rolando Granada.<sup>48</sup> En Mayo de 1986 suscribieron una Declaración Conjunta el Gobierno de la provincia de Córdoba, la Universidad Nacional de Córdoba y la CNEA en la que se plasmó el interés no sólo para la

---

<sup>44</sup> Se denomina reactores o conjuntos críticos de "potencia cero" a aquellos que generan una potencia térmica muy baja, es decir, que oscila entre 1 y 10 W.

<sup>45</sup> CNEA (1980: 21).

<sup>46</sup> CNEA (1981: 34 y 1982: 32).

<sup>47</sup> CNEA (1983: 36 y 38).

<sup>48</sup> Granada (2011: 4).



producción de radioisótopos en el RA-9 sino también la investigación básica y aplicada. Por Resolución 563/1986 de Septiembre de 1986, fue elaborado el Proyecto LATIN en Junio de 1987, el cual incluyó una propuesta concreta para emplear el RA-9 en investigación básica y aplicada, la constitución de un laboratorio para utilización de técnicas neutrónicas y el programa de formación de recursos humanos pertinente.<sup>49</sup> Ese mismo año el cambio de autoridades de la Secretaría de Energía de la Nación decide menguar los recursos financieros destinados al Plan Nuclear Argentino en general. En ese contexto fueron muchos los proyectos que se vieron negativamente afectados: cancelación del mencionado proyecto RA-9, de los proyectos ARGOS-380 y TPA-300, entre otros, demoras significativas en los avances de obra en Atucha II (que originalmente debía inaugurarse en 1987) y en el desarrollo del proyecto CAREM, por mencionar algunos, tanto por falta de asignación presupuestaria como por el desinterés demostrado por el gobierno de Alfonsín y años más tarde por los dos gobiernos de Menem. En efecto, a mediados de la década del '90 el Dr. Granada presentó una nueva propuesta ante la CNEA y la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación para construir un nuevo reactor de investigación para el país, sin embargo la misma no fue tenida en consideración por ninguna de estas instituciones. No obstante, en 2008 la H. Cámara de Diputados de la Nación declaró la necesidad que el Poder Ejecutivo Nacional promueva esta importante y estratégica iniciativa del Dr. Granada "(...) *para la construcción de un reactor nuclear de investigación, de flujo neutrónico suficientemente alto para poder ser utilizado en la investigación científica y tecnológica, la producción de radioisótopos y la medicina nuclear*".<sup>50</sup>

Ahora bien, el Proyecto RA-10 nace oficialmente en Junio de 2010, cuando Presidencia de la CNEA (por Resolución 200/10) resuelve dar inicio al diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor nuclear multipropósito denominado RA-10, de 30 MW de potencia térmica que empleará U<sup>235</sup> enriquecido a menos del 20% y agua liviana como moderador y refrigerante.

Los objetivos principales del proyecto RA-10 (CNEA, 2012a: 35; y; 2011: 23 y 24) serán:

- *Incrementar la producción comercial de radioisótopos para el diagnóstico de enfermedades que sirvan a la satisfacción de las necesidades de los mercados local, regional y en menor medida internacional, por medio del aumento de producción del radioisótopo Mo-99 y el desarrollo de una nueva generación de radioisótopos.*
- *Desarrollar ensayos de nuevos combustibles y materiales nucleares a través de la implementación de facilidades para la irradiación de miniplacas y combustibles para reactores nucleares experimentales del tipo MTR, ensayos sobre elementos combustibles de reactores nucleares de potencia, sobre*

---

<sup>49</sup> Granada (2011: 4).

<sup>50</sup> <http://www1.hcdn.gov.ar/proyxml/expediente.asp?fundamentos=si&numexp=1001-D-2008>



*materiales estructurales para estudios de daño por radiación y corrosión, y sobre materiales constitutivos del recipiente de presión de reactores nucleares de potencia para estudio de fragilización.*

- *También se pretende desarrollar aplicaciones tecnológicas y abordar un amplio rango de temas vinculados con la investigación básica en los campos de la ingeniería nuclear, la ciencia y tecnología de materiales, la física de la materia condensada, la química y la biología, por medio de técnicas neutrónicas basadas en el empleo de neutrones térmicos y fríos.<sup>51</sup>*

El RA-10 será emplazado en un predio de la CNEA perteneciente al Centro Atómico Ezeiza (CAE), sitio en donde opera desde 1967 el reactor nuclear de producción comercial de radioisótopos y de investigación RA-3 (cuya producción cubre las necesidades de abastecimiento de radioisótopos del país).

Según la CNEA (2011: 13), las actividades significativas desarrolladas durante el año 2010 en el Proyecto RA-10 fueron las siguientes:

- *Estructuración, planificación e integración del proyecto.*
- *Consolidación en el marco de la ingeniería conceptual de requerimientos y estudio de consistencia.*
- *Desarrollo de la ingeniería conceptual de los principales sistemas del reactor.*
- *Inicio de los análisis en conjunto con Brasil para definir un reactor con diseño similar a construirse en ambos países.*

Según la CNEA (2012a: 35), durante el año 2011 se formalizaron cinco acuerdos de servicios con grupos temáticos de la CNEA para el desarrollo de las siguientes actividades:

- *Medición de capa de óxido en placa de aluminio.*
- *Estudio de emplazamiento para el proyecto, incluyendo el estudio de localización.*
- *Elaboración del análisis de seguridad para la licencia de construcción.*
- *Elaboración de la ingeniería básica para el diseño, desarrollo y construcción del sistema de instrumentación nucleónica y del sistema de protección del reactor.*
- *Elaboración de la ingeniería básica par los elementos combustibles, las placas absorbentes y las cajas guías.*
- *Elaboración de la ingeniería básica del tendido de los servicios de energía eléctrica, agua, gas natural y cloacas.*

---

<sup>51</sup> Véanse al respecto CNEA (2012a y 2011), Granada et al (2012), Granada (2011) y De Dicco (2009 y 2011).

Además, en 2011 se establecieron *"las bases de calidad y gestión del proyecto de acuerdo a estándares, normativas y regulaciones nacionales e internacionales, apoyados en metodologías de dirección de proyectos"* (CNEA, 2012a: 35). También *"se elaboró un plan de licenciamiento donde se identifican y planifican todas las tareas, análisis y documentación que requerida para la gestión de la «Licencia de Construcción» ante la Autoridad Regulatoria Nuclear"* (ARN), considerando simultáneamente *"una visión global de todas las etapas del Proyecto, iniciándose también la interacción con esa Autoridad a fin de presentar los aspectos principales del proceso de licenciamiento. Con el fin de garantizar la integración de ese proceso al proyecto, la planificación del licenciamiento se articuló con otros sistemas de gestión del proyecto, tales como el sistema de planificación y control y el sistema de calidad"* (CNEA, 2012a: 35).

Cabe destacar que entre los años 2011 y 2012 se avanzó en la construcción y equipamiento de nuevos edificios en el CAB, en los cuales el equipo de gestión del Proyecto tiene actualmente su espacio físico; estas obras quedaron finalizadas en 2012.

A lo largo de 2011 el Proyecto RA-10 aumentó su capacidad operativa y funcional mediante la incorporación de personal en áreas técnicas y de soporte. También logró finalizarse la Ingeniería Conceptual gracias al aporte de personal especializado de la CNEA y de INVAP Sociedad del Estado. Esta fase demandó unas 25.000 horas/hombre a lo largo de un año de trabajo con un presupuesto superior a AR\$ 1,5 millones (CNEA, 2012a: 35). En Diciembre de 2011 se firmó un Convenio Especifico con INVAP dividido en tres etapas para el desarrollo conjunto de la Ingeniería Básica del RA-10, con un presupuesto de AR\$ 60 millones, la cual ha sido completada.<sup>52</sup>

En el presente INVAP se encuentra ejecutando la Ingeniería de Detalle del RA-10 en un esquema de etapas similar al aplicado al de la Ingeniería Básica. Cabe destacar que en Mayo de 2013 INVAP y la CNEA anunciaron que Brasil contratará la ingeniería básica para la construcción del Reactor Multipropósito Brasileiro (RMB), similar al RA-10, por un monto superior a los AR\$ 60 millones a la empresa INVAP.<sup>53</sup>

También se encuentran completada la revisión crítica de diseño de la obra civil (la cual comenzará este año una vez obtenida la licencia de construcción por parte de la ARN), finalizado el estudio de emplazamiento del reactor en el predio del CAE-CNEA

---

<sup>52</sup> Véanse al respecto CNEA (2012a: 35) e INVAP (2012: 9).

<sup>53</sup> Véanse al respecto los siguientes enlaces:

[http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id\\_noticia=578](http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id_noticia=578)

<http://www.invap.com.ar/es/home/sala-de-prensa/773-cooperacion-nuclear-brasilero-argentina-un-nuevo-paso-en-la-integracion.html>

<https://www.ipen.br/sitio/index.php?idc=13383>

<https://www.ipen.br/sitio/index.php?idc=13424>



e implementado el programa comunicacional con la ARN en el contexto del proceso de obtención de la licencia de construcción que fuera mencionado oportunamente.

En el CLICET estimamos que las obras civiles quedarán completadas a fines de 2015, la realización de los ensayos convencionales (no nucleares) en el transcurso de 2016 y en 2017 debería lograrse la primera criticidad del reactor para iniciar la operación comercial de producción de radioisótopos a partir de 2018.

En lo que respecta a producción comercial de radioisótopos, el principal objetivo del RA-10 será satisfacer la demanda del mercado interno, pero también debe considerarse que para la fecha en que inicie su operación comercial varios de los principales reactores de producción de radioisótopos del mundo deberían salir de servicio por finalización de su vida útil, y en ese sentido el RA-10 podría suministrar diversos radioisótopos para exportar a países miembros de la UNASUR.



## Anexo de imágenes

### Reactor RA-1



Imagen del recinto del reactor nuclear RA-1 "Enrico Fermi".  
Foto: CAC-CNEA.



The Argonaut University Training Reactor.

Foto: <http://www.ne.anl.gov/About/reactors/training.shtml>

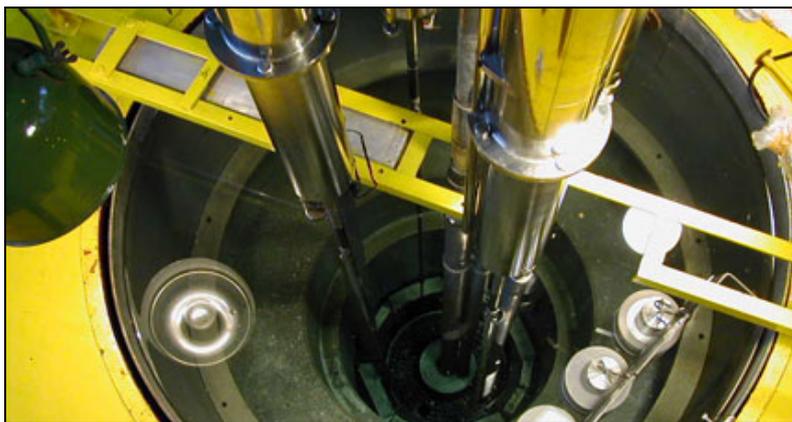


Imagen del núcleo del reactor nuclear RA-1.



Imagen de la Sala de Control del reactor nuclear RA-1.

Fotos: CAC-CNEA.

## Reactor RA-0



Imágenes de la Sala de Control del reactor nuclear RA-0 en distintos momentos históricos.

Fotos: Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

Imagen izquierda: <http://bicentenario.unc.edu.ar/galeria-de-fotos/galeria-reactor-nuclear>

Imagen derecha: <http://www.ra0.efn.uncor.edu>



Imágenes del curso de Laboratorio de Física de Reactores dictado a personal de la Central Nuclear Embalse en Septiembre de 2010 (izquierda) y en Noviembre de 2010 (derecha) en la Sala de Control del reactor nuclear RA-0.

Fotos: Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.



Imagen izquierda: vista superior del núcleo cilíndrico, rodeado por el reflector. Se observan las barras de control entre núcleo y reflector. Imagen derecha: Puente de mecanismos para movimiento de barras de control del reactor nuclear RA-0.

Foto izquierda: Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Foto derecha: CNEA.

**Reactor RA-3**

Imagen izquierda: Escalera de acceso a la boca del tanque y ventana de la Sala de Control del reactor nuclear RA-3. Imagen derecha: Imagen del efecto Czerenkof en el núcleo del reactor nuclear RA-3.



Imagen izquierda: edificio del reactor nuclear RA-3. Imagen derecha: Planta de Producción de Radioisótopos del Centro Atómico Ezeiza.



Imágenes de la Planta de Producción de Radioisótopos del Centro Atómico Ezeiza.

Fotos: CAE-CNEA.



Visita de la Presidenta de la CNEA, Lic. Norma Boero, a la Planta de Producción de Radioisótopos y Laboratorios del Centro Atómico Ezeiza.



Visita de la Presidenta de la Nación, Dra. Cristina Fernández de Kirchner, a la Planta de Producción de Radioisótopos del Centro Atómico Ezeiza con motivo del 60º Aniversario de la CNEA.

Fotos: CAE-CNEA.

## Reactor RA-4



Imagen izquierda: imagen del tablero de comandos de la Sala de Control del reactor nuclear RA-4.  
Imagen derecha: imagen del recipiente del reactor nuclear RA-4.



Imagen del edificio del reactor nuclear RA-4.

Fotos: Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario.

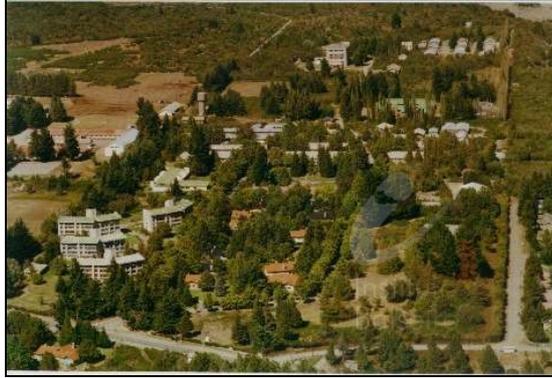
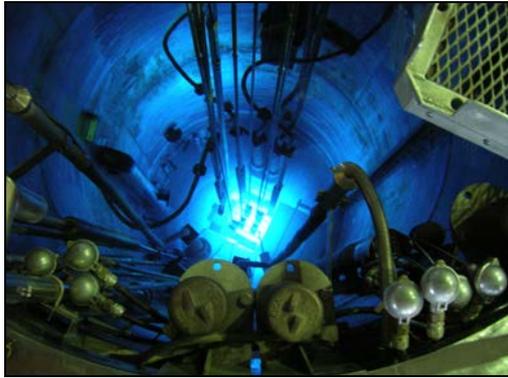
**Reactor RA-6**

Imagen izquierda: efecto Czerenkof en el núcleo del reactor nuclear RA-6. Foto: CAB-CNEA.

Imagen derecha: predio del Centro Atómico Bariloche (CAB). Foto: Instituto Balseiro de la CNEA.



Imagen izquierda: de izquierda a derecha se ubican Facundo Deluchi (CNEA-CLICET), Ricardo De Dicco (INVAP-CLICET) y Juan Manuel García (CLICET) en la sala de simulación de control del reactor RA-6.

Imagen derecha: Ricardo De Dicco y Facundo Deluchi en la Sala de Control del reactor RA-6. Atrás del vidrio se observa parcialmente el recinto del reactor.

Fotos: Ricardo De Dicco.



Imagen izquierda: Néstor Rico, Jefe de Seguridad del RA-6 (izquierda), junto a Juan Manuel García y Facundo Deluchi (derecha). Foto izquierda: Ricardo De Dicco.

Imagen derecha: Consola de la Sala de Control del reactor nuclear RA-6. Foto derecha: CAB-CNEA.



Imagen del recinto del reactor nuclear RA-6.

Foto: CAB-CNEA.



Imagen del edificio del reactor nuclear RA-6 en el predio del Centro Atómico Bariloche de la CNEA.

Foto: Instituto Balseiro de la CNEA.

## Reactor RA-8



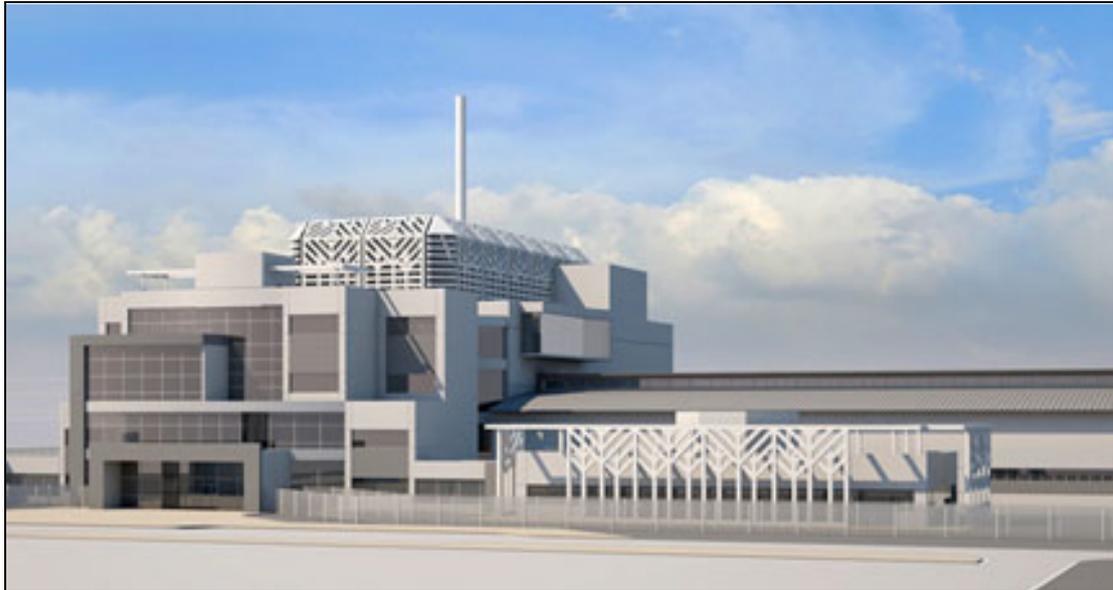
Imagen del núcleo del Conjunto Crítico RA-8.



Imágenes del Recinto del Conjunto Crítico (izquierda) y de la Sala de Control del RA-8 (derecha).

Fotos: CTP-CNEA, 2005.

## Reactor RA-10



Imágenes artísticas de los edificios del reactor nuclear multipropósito RA-10. En la imagen de abajo, a la derecha de las oficinas del Edificio de Guías se ubicarían un módulo de Oficinas para Investigadores y otro módulo para la cocina y comedor del personal.

Fuente: CAB-CNEA.

**Informes/Artículos vinculados**

De Dicco, Ricardo (Marzo/2013). *Avances del Plan Nuclear Argentino*. Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET).

[http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/020313\\_rad\\_tn.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/020313_rad_tn.pdf)

De Dicco, Ricardo (Febrero/2012). *Avances del Plan Nuclear Argentino*. Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET).

[http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/011211\\_rad\\_tn.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/011211_rad_tn.pdf)

De Dicco et al (Octubre/2011). *Inauguración de Atucha II*. Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET).

[http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/280911\\_rad\\_tn.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/280911_rad_tn.pdf)

De Dicco, Ricardo (Agosto/2011). *Extensión de vida útil de Embalse, y avances de obra en Atucha II y en el Proyecto CAREM-25*. Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET).

[http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/010811\\_rad\\_tn.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/010811_rad_tn.pdf)

De Dicco, Ricardo (Octubre/2010). *Caracterización del proceso de reactivación del Plan Nuclear Argentino*. Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET).

[http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/091201\\_rad\\_tn.pdf](http://www.cienciayenergia.com/Contenido/pdf/091201_rad_tn.pdf)



## Referencias bibliográficas

Bernal, Federico / De Dicco, Ricardo (2009). *La tecnología nuclear aplicada a la medicina, la industria y la investigación científico-tecnológica*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

Briozzo, Federico / Harriage, Santiago / Sbaffoni, María Mónica / Quilici, Domingo (2008). "A 40 años de la inauguración del RA-3: anécdotas, historias y algunas enseñanzas", en *Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica N° 27/28 - Julio/Diciembre de 2007*. Sede Central. Buenos Aires.

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA, 2012a). *Memoria y Balance 2011*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2012b). *Plan Nuclear en Marcha*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2011). *Memoria y Balance 2010*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2010). *Memoria y Balance 2009*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2009). *Memoria y Balance 2008*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2008a). *Memoria y Balance 2007*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2008b). *Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management - Third National Report*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2007). *Memoria y Balance 2006*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2006). *Memoria y Balance 2005*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2005). *Memoria y Balance 2004*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2004). *Memoria y Balance 2003*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2003). *Memoria y Balance 2002*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2002). *Memoria y Balance 2001*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (2001). *Memoria y Balance 2000*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1999). *Memoria 1998*. Centro Atómico Constituyentes. San Martín.



CNEA (1998). *Memoria 1997*. Centro Atómico Constituyentes. San Martín.

CNEA (1998). *Informe Anual de Actividades 1997*. Centro Atómico Constituyentes. San Martín.

CNEA (1997). *Informe Anual de Actividades 1996*. Centro Atómico Constituyentes. San Martín.

CNEA (1996). *Informe Anual de Actividades 1995*. Centro Atómico Constituyentes. San Martín.

CNEA (1989). *Memoria Anual 1988*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1988). *Memoria Anual 1986-1987*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1987). *ARGOS PHWR 380*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1986). *Memoria Anual 1985*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1985). *Memoria Anual 1984*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1984). *Memoria Anual 1983*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1983). *Memoria Anual 1982*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1982). *Memoria Anual 1981*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1981). *Memoria Anual 1980*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1980). *Memoria Anual 1979*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1979). *Memoria Anual 1978*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1978). *Memoria Anual 1977*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1977). *Memoria Anual 1976*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1972). *Memoria Anual 1971*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1971). *Memoria Anual 1970*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1968). *Memoria Anual 1967*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1967). *Memoria Anual 1966*. Sede Central. Buenos Aires.



CNEA (1966). *Memoria Anual 1965*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1965). *Memoria Anual 1964*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1964). *Memoria Anual 1962-1963*. Sede Central. Buenos Aires.

CNEA (1957-1963). *Boletines Informativos, años 1957 a 1963*. Sede Central. Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2013). *Avances del Plan Nuclear Argentino*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2012). *Diagnóstico y perspectivas del mercado mundial de producción de radioisótopos. El caso del Mo-99*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2011). *Proyecto RA-10, nuevo reactor nuclear para producción de radioisótopos*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2010). *Caracterización del proceso de reactivación del Plan Nuclear Argentino*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2009). *Fundamentos sobre la necesidad de un segundo reactor nuclear para producción de radioisótopos en Argentina*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2008a). *La proyección nuclear argentina hacia el exterior*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2008b). *¿Qué es la medicina nuclear?*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

De Dicco, Ricardo (2008c). *50 años del reactor RA-1*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.



Deluchi, Facundo / De Dicco, Ricardo (2008). *Historia de los centros atómicos de la CNEA*. Departamento de Tecnología Nuclear, Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICET). Buenos Aires.

Glasstone, Samuel y Alexander Sesonske (1990). *Ingeniería de reactores nucleares*. Editorial Reverté. Barcelona.

Granada, José Rolando (2011). *El Proyecto RA-10: nuevo reactor argentino de producción e investigación*. Centro Atómico Bariloche de la CNEA. San Carlos de Bariloche.

Granada, José Rolando / Aurelio, Gabriela / Sacanell, Joaquín (2012). *Laboratorio Argentino de Técnicas de Investigación Neutrónicas Avanzadas (LATINA)*. Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro de la CNEA. San Carlos de Bariloche.

INVAP Sociedad del Estado (2012). *Memoria y Balance. Ejercicio Económico finalizado al 30 de Junio de 2012*. San Carlos de Bariloche.

López Dávalos, Arturo y Norma Badino (2000). *J. A. Balseiro: crónica de una ilusión. Una historia de la física en la Argentina*. Editorial Fondo de Cultura Económica (FCE), primera edición. Buenos Aires.

Mayo, Santos (1966). *El Sincrociclotrón de Buenos Aires. Informe retrospectivo, período 1954-1965*. CNEA, Sede Central. Buenos Aires.

Ornstein, Roberto (2010). "El desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa", en *Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica N° 37/38 - Enero/Junio de 2010*. CNEA, Sede Central. Buenos Aires.

Radicella, Renato (2003). "Los veinte radioisótopos descubiertos en Argentina", en *Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica N° 5/6 - Junio de 2002*. CNEA, Sede Central. Buenos Aires.

Radicella, Renato (1975). *El Consumo y el Abastecimiento de Radioisótopos en la República Argentina*. CNEA, Sede Central. Buenos Aires.

Suárez, Sergio (2003). "Historia del Kevatrón", en *Revista de la Comisión Nacional de Energía Atómica N° 7 - Julio/Diciembre de 2002*. CNEA, Sede Central. Buenos Aires.



## Enlaces de interés

Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN)

<http://www.arn.gov.ar>

Centro Atómico Bariloche (CAB)

<http://www.cab.cnea.gov.ar>

Centro Atómico Constituyentes (CAC)

<http://www.cnea.gov.ar/cac>

Centro Atómico Ezeiza (CAE)

<http://caebis.cnea.gov.ar>

Combustibles Nucleares Argentinos S.A. (CONUAR)

<http://www.conuar.com.ar>

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

<http://www.cnea.gov.ar>

Dioxitek S.A.

<http://www.dioxitek.com.ar>

Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería Sociedad del Estado (ENSI)

<http://www.ensi.com.ar>

Fábrica de Aleaciones Especiales S.A. (FAE)

<http://www.fae.com.ar>

Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear (FCDN)

<http://www.fcdn.org.ar>

Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN)

<http://www.fuesmen.edu.ar>

Instituto Balseiro (IB)

<http://www.ib.edu.ar>

Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS)

<http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds>

<http://www2.cab.cnea.gov.ar/ieds/index.html>

Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INN)

<http://inn.cnea.gov.ar>



Instituto de Tecnología Nuclear "Dan Beninson"

<http://www.cnea.gov.ar/institutobeninson>

Instituto de Tecnología Nuclear "Prof. Jorge A. Sabato"

<http://www.isabato.edu.ar>

INVAP Sociedad del Estado

<http://www.invap.com.ar>

Laboratorio TANDAR

<http://www.tandar.cnea.gov.ar>

Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NA-SA)

<http://www.na-sa.com.ar>

Polo Tecnológico Constituyentes S.A. (PTC S.A.)

<http://www.ptconstituyentes.com.ar/index.htm>

Reactor Nuclear RA-0 - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (EFN-UNC)

<http://www.ra0.efn.uncor.edu>

Reactor Nuclear RA-4 - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario (FCEIA-UNR)

<http://reactorra4.angelfire.com>



## NOTAS SOBRE EL AUTOR

### Ricardo A. De Dicco

- Es especialista en Economía de la Energía y en Infraestructura y Planificación Energética del Instituto de Investigación en Ciencias Sociales (IDICSO) de la Universidad del Salvador.
- Especialista en Tecnología Nuclear y en Teledetección Satelital del Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICeT).
- Se desempeñó entre 1991 y 2001 como consultor internacional en Tecnologías de la Información y de las Telecomunicaciones Satelitales.
- A partir de 2002 inició sus actividades de docencia e investigación científica sobre la problemática energética de Argentina y de América Latina en el Área de Recursos Energéticos y Planificación para el Desarrollo del IDICSO (Universidad del Salvador), desde 2005 en la Universidad de Buenos Aires, a partir de 2006 como Director de Investigación Científico-Técnica del CLICeT, desde 2008 es miembro del Observatorio de Prospectiva Tecnológica Energética Nacional (OPTE) de Argentina y desde 2011 consultor externo de INVAP Sociedad del Estado.
- También brindó servicios de consultoría a PDVSA Argentina S.A. y de asesoramiento a organismos públicos e internacionales, como ser la Comisión de Energía y Combustibles de la H. Cámara de Diputados de la Nación, el H. Senado de la provincia de Buenos Aires, el Ministerio de Educación de la Nación, el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios y la Organización de Naciones Unidas.
- Ha participado como expositor en numerosos seminarios y congresos nacionales e internacionales sobre la problemática energética de Argentina y de América Latina.
- Es autor de más de un centenar de informes de investigación y artículos de opinión publicados en instituciones académicas y medios de prensa del país y extranjeros.
- Entre sus últimas publicaciones, se destacan: *"2010, ¿Odisea Energética? Petróleo y Crisis"* (Editorial Capital Intelectual, Colección Claves para Todos, Buenos Aires, 2006), co-autor de *"La Cuestión Energética en la Argentina"* (FCE-UBA y ACARA, Buenos Aires, 2006), de *"L'Argentine après la débâcle. Itinéraire d'une recomposition inédite"* (Michel Houdiard Editeur, París, 2007) y de *"Cien años de petróleo argentino. Descubrimiento, saqueo y perspectivas"* (Editorial Capital Intelectual, Colección Claves para Todos, Buenos Aires, 2008).

Correo electrónico: [clicet@gmail.com](mailto:clicet@gmail.com)

	<b>Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas</b>
<a href="http://www.cienciayenergia.com">http://www.cienciayenergia.com</a>	<b>Buenos Aires, República Argentina</b>
<i>Ciencia y Energía</i> es la Publicación Oficial del CLICeT	



**Staff del CLICeT**

**Dirección Editorial**

Federico Bernal y Ricardo De Dicco

**Dirección de Investigación Científico-Técnica**

Ricardo De Dicco y José Francisco Freda

**Dirección Comercial y Prensa**

Juan Manuel García

**Dirección de Arte y Diseño Gráfico**

Gabriel De Dicco



**Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas**

<http://www.cienciayenergia.com>

**Buenos Aires, República Argentina**

*Ciencia y Energía* es la Publicación Oficial del CLICeT



## Coordinadores de los Departamentos de la Dirección de Investigación Científico-Técnica

- ***Latinoamérica e Integración Regional***  
Gustavo Lahoud y Federico Bernal
- ***Defensa Nacional, Seguridad Hemisférica y Recursos Naturales***  
Gustavo Lahoud
- ***Industria, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo***  
Federico Bernal y Ricardo De Dicco
- ***Agro, Soberanía Alimentaria y Cuestión Nacional***  
Federico Bernal y José Francisco Freda
- ***Estadística, Prospectiva y Planificación Energética***  
Ricardo De Dicco, José Francisco Freda y Alfredo Fernández Franzini
- ***Energía en Argentina***  
Federico Bernal y José Francisco Freda
- ***Energía en el Mundo***  
Gustavo Lahoud y Facundo Deluchi
- ***Energías Alternativas***  
Juan Manuel García y Ricardo De Dicco
- ***Combustibles Renovables***  
Juan Manuel García y Federico Bernal
- ***Tecnología Nuclear Argentina***  
Ricardo De Dicco y Facundo Deluchi
- ***Tecnología Aeroespacial***  
Ricardo De Dicco y Facundo Deluchi



Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas

<http://www.cienciayenergia.com>

Buenos Aires, República Argentina

*Ciencia y Energía* es la Publicación Oficial del CLICeT