

El desarrollo nuclear argentino: 60 años de una historia exitosa

ROBERTO ORNSTEIN – Comisión Nacional de Energía Atómica

La Argentina es uno de los pocos países en desarrollo que ha alcanzado un considerable avance en el campo nuclear. Ello no ha sido un producto del azar, sino el resultado de seis décadas de esfuerzo sostenido llevado a cabo por científicos y técnicos argentinos bajo la conducción de una entidad creada al efecto en 1950, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

El caso de la Argentina no es el típico de la mayoría de los Estados en desarrollo que al emprender el camino de la actividad nuclear suelen recibir el aporte foráneo “llave en mano”, es decir, a través del suministro de instalaciones y equipos diseñados y fabricados en el país proveedor. No fue esa la política de la Argentina: dentro de los límites de sus posibilidades, el país prefirió desarrollar su propia tecnología. Así, cuando las capacidades científicas, tecnológicas e industriales lo permitieron, utilizó su propio potencial para realizar por si misma las obras programadas o, en aquellos casos en que ineludiblemente debió recurrir a celebrar contratos comerciales con empresas extranjeras, participó activamente en la ejecución de esas obras.

Argentina is one of the few developing countries that has achieved considerable advances in the nuclear field. This was not a product of hazard, but the result of six decades of sustained effort carried out by Argentine scientists and technicians under the direction of an entity created in 1950 for this purpose: the National Atomic Energy Commission.

The Argentine case was not that typical of most of the developing countries that are starting to move nuclear, which usually received “turn key” foreign installations. This was not the Argentine policy; within the limits of her own scientific, technological and industrial possibilities she chose to carry out for itself the nuclear program or, when the subscription of commercial contracts with foreign companies was unavoidable, she actively participated in the execution of the works.

Introducción

La República Argentina es uno de los pocos países en proceso de desarrollo que ha alcanzado un considerable grado de avance en el campo nuclear. Ello no ha sido un producto del azar, sino el resultado de seis décadas de un esfuerzo sostenido, llevado a cabo por científicos y técnicos argentinos, bajo la conducción, esencialmente, de una entidad creada al efecto en 1950, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

El caso de la Argentina no fue el típico de la mayoría de los Estados en desarrollo que, si deciden emprender el camino de la actividad nuclear, suelen recibir el aporte foráneo “llave en mano”, es decir, a través del suministro de instalaciones y equipos completos, diseñados y fabricados en el país proveedor.

No fue esa la política de la Argentina. Tradicionalmente y dentro de los límites de sus posibilidades, el país prefirió desarrollar su propia tecnología a adquirirla “llave en mano”. Así, cuando sus capacidades científicas, tecnológicas e industriales lo permitieron, la Argentina, utilizando su propio potencial, realizó por si misma las obras programadas o, en aquellos casos en que ineludiblemente debió recurrir a celebrar contratos comerciales con empresas extranjeras, participó activamente en las obras.

Como ejemplos de lo primero podemos citar la construcción de reactores experimentales de investigación y producción, el dominio de diversas tecnologías del ciclo del combustible nuclear y todo lo relacionado con la producción y las aplicaciones de los radioisótopos y las radiaciones ionizantes.

Desde el reactor RA-1 inaugurado en 1958, los

reactores experimentales argentinos fueron proyectados y construidos en el país, en algunos casos partiendo de diseños elaborados inicialmente en el exterior, pero adaptándolos a las necesidades locales.

En el área del ciclo del combustible nuclear, desde la fase inicial de la minería del uranio, incluidas la prospección, exploración, extracción, concentración, purificación y conversión, hasta la fabricación de tubos y semiterminados de zircaloy y de los elementos combustibles para reactores de potencia, así como el desarrollo de las sofisticadas tecnologías del enriquecimiento de uranio y de la separación del plutonio, el país recorrió un largo camino que en varios casos transitó por las etapas del laboratorio, la planta piloto y, finalmente, la planta industrial.

En el campo de la producción y aplicación de los radioisótopos y las radiaciones ionizantes, partiendo del conocimiento adquirido mediante la investigación radioquímica original desarrollada en los primeros años, se constituyó un conjunto científico-tecnológico que, en su momento, llegó a ser comparable con los de los países desarrollados.

En aquellos casos, como el de las centrales nucleoelectricas o la planta de producción de agua pesada, en que resultó ineludible la contratación en el exterior del diseño y la realización de las obras correspondientes, el país desarrolló una participación activa en ellas a través de la CNEA y de empresas privadas argentinas, tanto en la etapa del diseño cuanto en la de construcción.

Ya en la construcción de la primera central nuclear argentina - Atucha I - la participación nacional a través de la industria privada alcanzó un 40% del valor de la central. En el caso de la segunda - Embalse - se complementó la

experiencia anterior en dos aspectos fundamentales: la participación en la dirección de la obra que la CNEA llevó a cabo al actuar como subcontratista principal de la empresa extranjera responsable de la parte nuclear de la obra, y el montaje, en que la empresa privada argentina contribuyó, aún en aspectos tecnológicamente complejos como el montaje de componentes principales. Finalmente, en el caso de la tercera central - Atucha II - gracias a las experiencias anteriores, se abandona el sistema de contratación "llave en mano" y se asume la responsabilidad de la ingeniería y de la arquitectura industrial de la obra, en asociación con la empresa proveedora de la central. El funcionamiento pleno de Atucha I y Embalse permitió adquirir experiencia en la operación y mantenimiento de centrales nucleares que quedó demostrada por los altos valores de los factores de carga con que ambas operan.

En el caso de la Planta Industrial de Producción Agua Pesada de Arroyito, la participación argentina se manifestó principalmente en la compleja fase de su puesta en marcha.

Lo fundamental de todo este proceso es que permitió la acumulación de una experiencia y una capacidad de realización muy valiosas en diversos campos de la actividad nuclear y la capacitación paralela de un nutrido grupo de profesionales y técnicos formados en las dificultades reales de este tipo de emprendimientos. Su saldo fue una industria nuclear argentina, no sólo relativamente avanzada, sino con características propias.

Un aspecto adicional contribuyó, involuntariamente, al ritmo y magnitud de los progresos nacionales en materia nuclear. Es una realidad innegable que, por muchos años, la política nuclear argentina fue vista con desconfianza en algunos países líderes exportadores de esa tecnología. Es más que discutible que esa desconfianza haya estado justificada o no. Lo cierto es que la consiguiente actitud restrictiva en materia de transferencia de tecnología nuclear adoptada por esos países tuvo una consecuencia no buscada por ellos: obligó a la Argentina a desarrollar por sí misma, a costa de considerables esfuerzos, técnicas y equipos que en el exterior se negaban a proporcionarle. A menudo, el ingenio de los profesionales nacionales trascendió la mera repetición de los modelos imposibles de adquirir en el exterior, para introducir variantes e innovaciones originales, lo que no sólo constituyó un beneficio adicional, sino que significó una útil adaptación de equipos sofisticados a las circunstancias propias de un país en desarrollo.

En la historia del desarrollo nuclear en la Argentina caben distinguir tres etapas: una primera, formativa, que va desde la creación de la CNEA en 1950 hasta 1958, una segunda, de consolidación, caracterizada por el significativo desarrollo de las aplicaciones nucleares, que abarca de 1959 hasta 1967; y una tercera, que se extiende hasta la actualidad, en la que, alcanzada la madurez en este campo, se vuelca el esfuerzo hacia la generación nucleoelectrónica.

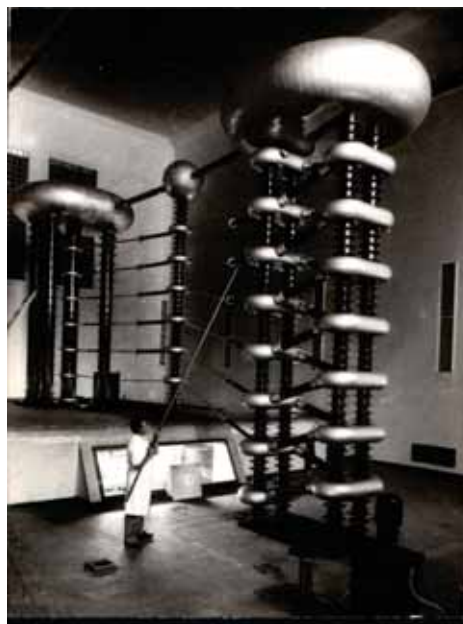
La etapa formativa

En la primera etapa, la formativa, que se extiende de 1950 a 1958, se toman las decisiones que

llevan a la creación de lo que es hoy la CNEA, se organizan los primeros grupos de trabajo en investigación y desarrollo, se capacita el personal principalmente a través de su formación en centros de los países más adelantados, se comienza la formación regular de físicos a través de la creación del Instituto de Física Balseiro y las de capacitación de profesionales en reactores nucleares y metalurgia nuclear, se inician las actividades en los campos de la producción y aplicación de radioisótopos y las tareas de prospección de recursos uraníferos, se sientan las bases para la elaboración de un cuerpo normativo regulatorio en materia de seguridad radiológica y nuclear, y se construye en el país el primer reactor experimental, el RA-1, incluidos sus elementos combustibles. Algunos de estos desarrollos merecen un comentario aparte.

Con la creación de la CNEA en 1950 y la instalación a partir de 1952 de sus primeros laboratorios, comienza la evolución orgánica de la energía nuclear en el país. Como primera medida se procuró reunir la poca experiencia existente, para lo cual fueron llamados a colaborar investigadores en distintas disciplinas científicas relacionadas con el tema, constituyéndose grupos de trabajo integrados por jóvenes profesionales que, en la mayoría de los casos, recién iniciaban su aprendizaje. Tiene comienzo así una primera etapa que durará hasta casi fines de esa década, dedicada fundamentalmente a la formación de personal especializado. A tal fin varios profesionales estudiaron en laboratorios europeos y norteamericanos y se procuró la visita de numerosos especialistas extranjeros.

Un hito importante de comienzos de esta etapa lo constituyó la instalación de un acelerador en cascada de 1 MeV, puesto en servicio a mediados de 1953, y la de un sincrociclotrón, para acelerar deuterones hasta 28 MeV, inaugurado en diciembre de 1954. Ello dio impulso a un grupo activo de física nuclear y a un grupo importante de radioquímica.



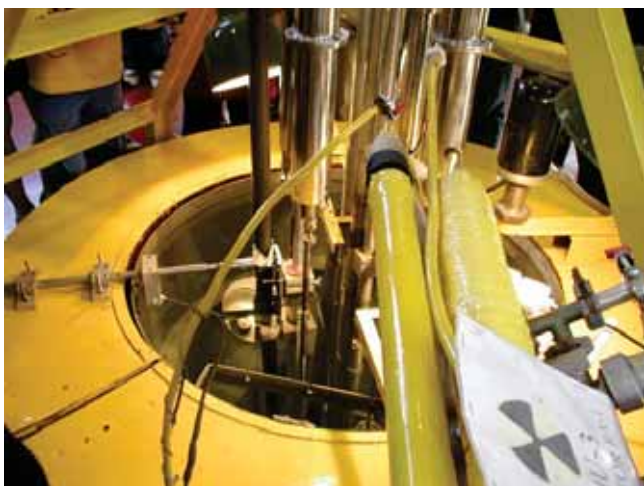
Acelerador en cascada (1953)

En 1955, se inicia en San Carlos de Bariloche el desarrollo del que posteriormente se conocería como el Instituto Balseiro, dictándose el primer curso de la Carrera de Física. Un convenio con la Universidad Nacional de Cuyo posibilitó al Instituto su condición universitaria.

En los años cincuenta las expectativas y el interés en el uso de técnicas nucleares eran muy grandes. En muchas partes del mundo se consideraba que estas técnicas - y en especial el uso de isótopos radiactivos - eran el medio más apropiado para resolver un número de problemas científicos y tecnológicos. No es de extrañar entonces que también la CNEA se dedicara a actividades relacionadas con la producción y utilización de los radioisótopos. Gracias a una definición oportuna de objetivos y a una serie de circunstancias afortunadas, pronto se empezaron a obtener resultados técnicos muy positivos. Es así como al poco tiempo, la Argentina se vio en condiciones de disponer de algunos materiales radiactivos que podía producir en sus instalaciones, en un momento en que los radioisótopos prácticamente no tenían proveedores comerciales.

En la primera mitad de la década del cincuenta coincidieron en la CNEA un científico de primera línea, contratado para establecer un grupo de investigación en el campo de la radioquímica, un grupo de profesionales jóvenes, muy entusiastas, y un equipamiento moderno, que incluía el acelerador en cascada y el sincrociclotrón a que se hizo referencia. Gracias a esta afortunada circunstancia, en poco tiempo el grupo de radioquímica logró consolidarse y generar una producción científica sólida de nivel internacional. A esa época se debe el descubrimiento en la Argentina de una veintena de radioisótopos nuevos, descubrimiento que hizo del "Grupo de Buenos Aires" uno de los grupos de radioquímica más respetados del momento.

No es de extrañar que, con la experiencia adquirida en la búsqueda de nuevos radioisótopos, el sector radioquímico de la CNEA se dedicara también a la producción de isótopos radiactivos con el sincrociclotrón, y hacia fines de los años cincuenta esa producción comenzó a tomar volumen, especialmente después de la puesta en operación del reactor RA-1 inaugurado en 1958 en el Centro Atómico Constituyentes, primer reactor experimental de América Latina, del tipo Argonaut, construido íntegramente en el país, y que en sucesivas etapas alcanzó una potencia de 150 Kw.



Reactor de investigación RA-1(1958)

Desde el comienzo, fue política de la CNEA producir en el país los elementos combustibles para abastecer los reactores a construir. Así fue como en 1957 se fabricaron los elementos combustibles para el mencionado reactor RA-1. A partir de ese entonces, todos los elementos combustibles para los reactores de investigación que sucesivamente entraron en operación, fueron diseñados y fabricados en la CNEA.

El estudio del territorio argentino con miras a determinar su riqueza en minerales nucleares fue también otra de las primeras preocupaciones de la CNEA. En 1952 se inició la extracción de uranio del yacimiento de Agua Botada, en Malargüe, Provincia de Mendoza, y se instaló en la Ciudad de Córdoba una pequeña planta experimental para el tratamiento de esas primeras extracciones uraníferas, que sirvió como base para el diseño de las posteriores. Complementariamente con lo anterior, en 1953 se construyó en Ezeiza una planta piloto para la producción de uranio metálico por calcioterapia.

Además, a partir de 1955, se inició el estudio sistemático de las reservas uraníferas. Como resultado de los primeros estudios geológicos realizados, se determinó la existencia de 1.300.000 Km². de territorio continental con posibilidades uraníferas, de los cuales 400.000 fueron catalogados como de interés inmediato. La prospección inicial se concentró en estos últimos y demostró la potencial existencia de recursos suficientes como para encarar un plan independiente con abastecimientos nacionales.

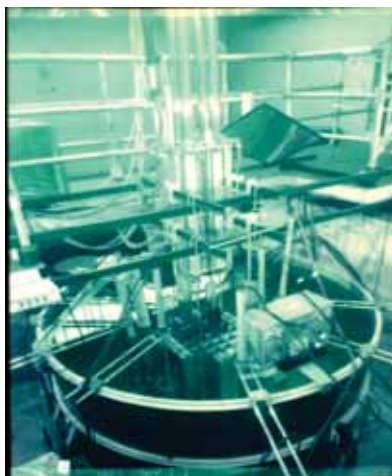
1955 también constituyó una fecha clave en la investigación y el desarrollo en el área de materiales en la Argentina y en Latinoamérica. En ese año, la CNEA organizó el Departamento Metalurgia - que con el tiempo evolucionara a Departamento de Materiales - el primer laboratorio de metalurgia en el sentido moderno de América Latina, es decir: un centro de investigaciones con sentido creador.

En los considerandos del decreto de creación de la CNEA se enunciaba en forma precisa la necesidad de establecer medidas que aseguraran la protección de la población de los efectos nocivos de las radiaciones provenientes de los materiales radiactivos. Es así que a partir de un pequeño grupo dedicado al control de la exposición del personal que trabajaba con radioisótopos y a la determinación de la precipitación radiactiva, se formó dentro de la CNEA, un organismo, convertido en la actualidad en la Autoridad Regulatoria Nuclear, que fue elaborando un conjunto de normas regulatorias que configuraron una estructura legal, sin duda de las más completas de América Latina. Esa estructura fue con el tiempo perfeccionada mediante nuevas disposiciones legales en materia de seguridad radiológica y nuclear que acompañaron el desarrollo nuclear del país.

La etapa de consolidación

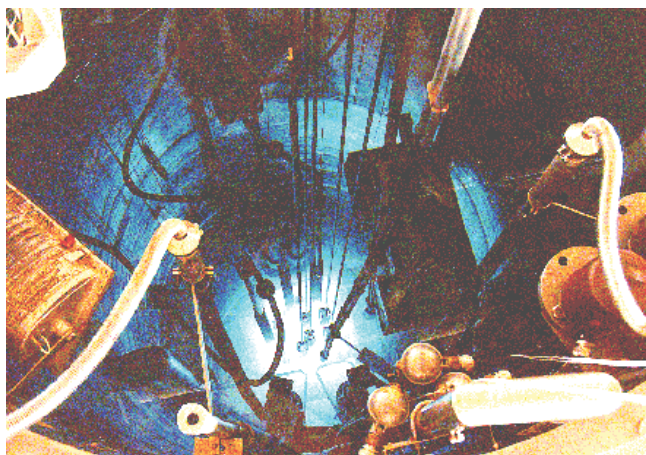
La segunda etapa del desarrollo nuclear argentino, de 1959 a 1967, constituye esencialmente una de transición y consolidación, durante la cual la CNEA se prepara para convertirse, de una institución dedicada fundamentalmente

a la formación de personal y a la investigación, en una institución con responsabilidades de realización en programas definidos en materia de aplicaciones de la energía nuclear. Se diseñan y construyen en el país los reactores de investigación RA-2 y de producción RA-3; se promueve la investigación y el desarrollo en metalurgia y se lleva a cabo la fabricación de los elementos combustibles para los nombrados reactores; se construye la primera planta convencional de producción de concentrado de uranio y otra de lixiviación en pilas; se desarrollan la producción y las técnicas de aplicación de radioisótopos en medicina, biología, industria y en el sector agropecuario, así como el uso de radiaciones ionizantes; y se encara, con medios propios, un estudio de factibilidad para la instalación de la primera central nucleoelectrónica.



Reactor de investigación RA-2 (1962)

En el año 1962 la CNEA contaba ya con un programa de comercialización de radioisótopos establecido y centralizaba la distribución de todos los radioisótopos, tanto los producidos en el país como los importados. Estos últimos eran fraccionados localmente. Para hacer frente al crecimiento de la demanda decidió la construcción de un reactor de irradiación de mayor potencia y de una planta diseñada expresamente para la producción de radioisótopos. El reactor, el RA-3, de 5 MW térmicos, fue inaugurado en 1967, y la planta de producción empezó a operar en 1971. Ambas instalaciones fueron diseñadas por la CNEA y construidas en el Centro Atómico Ezeiza.



Reactor de producción de radioisótopos RA-3 (1967)

La planta de producción incluyó soluciones que hicieron de ella una de las más desarrolladas del momento y llegó a cubrir en los años ochenta el 90% de la demanda nacional y permitir la exportación a países de la región.



Planta de producción de radioisótopos (1971)

La exitosa experiencia adquirida en estos emprendimientos posibilitó, como se describe más adelante, que en las décadas siguientes, la Argentina, sea por intermedio de la CNEA o de la empresa INVAP S.E. con el respaldo tecnológico de la CNEA, exportara reactores experimentales y plantas de producción de radioisótopos y radiofármacos.

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.

Ya en 1957 se habían iniciado experiencias sobre conservación de alimentos mediante el uso de fuentes intensas de radiación. En esta segunda etapa los estudios prosiguieron con especial énfasis en el campo de la radioesterilización, diseñándose y construyéndose una planta semi-industrial de irradiación con capacidad de 1.000.000 de Ci de cobalto-60 que entró en operación en 1970 y ha venido desde entonces prestando servicios a empresas locales, especialmente en el campo de los materiales médicos descartables.

En esta etapa de consolidación se comienzan trabajos orgánicos y amplios de prospección, exploración, evaluación y desarrollo de técnicas de beneficio de minerales de uranio. Así se construyó en "Don Otto", en la Provincia de Salta, una planta de lixiviación en pilas, que comenzó a operar en 1961, y en Malargüe, en la Provincia de Mendoza, la primera planta convencional de producción de concentrado de uranio que inició sus operaciones en 1965. Para 1967, la explotación de los recursos uraníferos se encuentra ya consolidada, con miras a abastecer a una futura primera central nuclear argentina.

También se completó el desarrollo de instalaciones y de un grupo de laboratorios que permitieron encarar muchos de los problemas metalúrgicos que deben afrontarse para el procesamiento y transformación del uranio y para la

utilización en la tecnología nuclear de materiales tales como el zirconio, el aluminio, el manganeso, el sodio, el potasio y sus diversas aleaciones. Dichos laboratorios fueron equipados con elementos modernos, muchos de ellos únicos en América Latina.

En 1961 se crea el Servicio de Asistencia Técnica a la Industria Metalúrgica (S.A.T.I.), con la finalidad de prestarle asesoramiento y asistencia técnica en todos los problemas vinculados con la preparación y el uso de metales y aleaciones, difundir nuevos métodos e información científica y desarrollar investigaciones.

En 1967, la Organización de Estados Americanos crea el "Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico", asignando prioridad a la elaboración de un programa multinacional de metalurgia, a nivel subcontinental (América Latina), y encargando la responsabilidad de su preparación al Departamento Metalurgia de la CNEA. El programa resultante, conocido como "Programa Multinacional de Metalurgia OEA-CNEA", operó entre 1969 y 1972 con sede en el citado Departamento. En 1962 se implementó un laboratorio de ensayos no destructivos que sirvió de base, una década después, a la creación del Instituto Nacional de Ensayos No Destructivos que, entre otras muchas tareas, presta servicios de control a las centrales nucleares en operación.

A pesar de que la evolución de las actividades nucleares llevó a dar un mayor énfasis a las tareas tecnológicas, las investigaciones básicas no fueron descuidadas. El sincrociclotrón fue perfeccionado en 1958 mediante un sistema de extracción de haz; en 1968 se instaló un separador de isótopos acoplado al acelerador en cascada. Los trabajos de tipo experimental desarrollados en dichos equipos fueron complementados por la actividad de un importante grupo de física teórica en el Centro Atómico Bariloche, inaugurándose en 1968 un acelerador lineal de electrones.

Hacia finales de esta segunda etapa, se produjo un hecho destinado a tener gran trascendencia en el desarrollo nuclear del país: en 1965 el Gobierno Nacional encargó a la CNEA el estudio de factibilidad de una central de potencia. Dicho estudio, que demandó un año a un calificado grupo de técnicos, demostró que la Argentina necesitaría del aporte de la energía nuclear para hacer frente a su creciente demanda de energía eléctrica, ya que las fuentes convencionales de energía resultarían insuficientes a mediano plazo para satisfacerla. El estudio señaló que era técnicamente factible, económicamente conveniente y financieramente viable la instalación de una central nuclear de 500 MW de potencia, para servir a la zona del Gran Buenos Aires-Litoral, a partir de 1971.

La etapa de la nucleoelectricidad y el dominio del ciclo de combustible

En la tercera etapa del desarrollo nuclear argentino, de 1968 a la fecha, el país inició sus actividades en el campo nucleoelectrónico, consolidando con el tiempo el conocimiento y la experiencia que iba adquiriendo en el mismo, y logró el dominio de las tecnologías del ciclo del

combustible nuclear y de producción de agua pesada, asegurando así el abastecimiento de esos insumos a sus centrales nucleares.

Como resultado del estudio de factibilidad ya mencionado, se llama a un concurso de ofertas que concluye con la adjudicación a la empresa Siemens de una central nuclear llave en mano de 330 MW de potencia neta, basada en uranio natural con agua pesada como moderador, del tipo de recipiente de presión, a ser construida en Atucha, Provincia de Buenos Aires, la cual entra en operación comercial en junio de 1974.



Central Nuclear Atucha I (1974)

Dos años antes, y como consecuencia del resultado de un segundo estudio de factibilidad, se formula un nuevo llamado a concurso para presentar ofertas por una segunda central nuclear de 600 MW a ser instalada en Embalse, en la Provincia de Córdoba. La misma se adjudicó en 1973 al consorcio canadiense-italiano AECL-Italmimpianti, que ofertó un reactor tipo CANDU, también a base de uranio natural y agua pesada, pero de tubos de presión, cuya construcción se inicia en 1974, conectándose comercialmente a la red en 1984.



Central Nuclear Embalse (1983)

Paralelamente se intensificaron los trabajos de exploración que incrementaron a 25.000 t de U₃O₈ la existencia de mineral en la categoría de recursos razonablemente asegurados, se triplica la capacidad de la planta de concentración de Malargüe, se construyen

nuevas plantas de concentración de uranio por lixiviación en pilas en Los Adobes (Chubut), Los Gigantes (Córdoba), Sierra Pintada (Mendoza) y La Estela (San Luis), y una planta de producción de dióxido de uranio en la Ciudad de Córdoba.

También se intensificaron las actividades tendientes a lograr el dominio del ciclo del combustible nuclear y a adquirir la capacidad de diseñar y construir centrales nucleares con medios propios. A esos efectos se incrementaron los presupuestos anuales de la CNEA y paralelamente el número de profesionales en las distintas disciplinas relacionadas con el área nuclear.

En 1977 se definieron objetivos y políticas en el campo nuclear con el fin de lograr la autosuficiencia para desarrollar un programa independiente que sirviese a los intereses nacionales. Estos intereses eran, por un lado, satisfacer la demanda futura de energía eléctrica, que crecería a un ritmo estimado entre el 8 y el 9% anual, mediante la utilización combinada de fuentes hidroeléctricas y nucleares y, por el otro, lograr la máxima autonomía en la utilización de esta fuente de energía. Se consideraba que en las primeras décadas del siglo XXI las principales fuentes hidroeléctricas ya estarían en explotación, las reservas de hidrocarburos se irían progresivamente agotando y el uso de combustibles fósiles en general se vería limitado por razones ambientales. El subsiguiente crecimiento de la generación de energía eléctrica debería producirse, en buena medida, a través de la instalación de centrales nucleares.

Para alcanzar dichos objetivos, el Gobierno aprobó en 1979 el Plan Nuclear, consistente en la instalación de cuatro centrales nucleares que debían entrar en operación comercial en 1987, 1991, 1994/95 y 1997, de una planta industrial de producción de agua pesada y de las instalaciones necesarias para completar todas las etapas del ciclo de combustible.

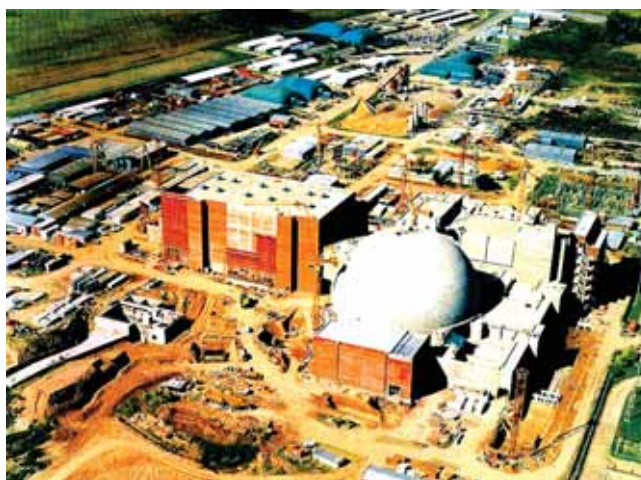
La definición de este Plan Nuclear respondió a la necesidad de promover una participación activa de la ingeniería e industria argentinas, asegurando perspectivas futuras a largo plazo y continuidad en la acción, condiciones ambas necesarias para que el sector privado se viera incentivado para embarcarse en dichas actividades y realizar las inversiones necesarias. El propósito fue ir generando las capacidades nacionales de diseño e instalación de centrales nucleares y de fabricación de los componentes e insumos de dichas centrales.

Como resultado de todo ello, la CNEA firmó con la empresa Sulzer Brothers de Suiza, en 1980, un contrato por la provisión "llave en mano" de una planta industrial de producción de agua pesada, inaugurada en 1994, con una producción anual garantizada de 200 t.



Planta industrial de agua pesada (1994)

Además, en mayo de 1980, CNEA y la empresa alemana KWU firmaron los contratos para la provisión de los suministros y servicios de importación destinados a una central nuclear basada en uranio natural y agua pesada, del tipo recipiente de presión, de una potencia aproximada de 700 MW, a ser también instalada en Atucha. La construcción de esta central sufrió, principalmente por razones financieras, extensas demoras, encontrándose en la actualidad próxima a completarse. Los suministros y servicios de origen nacional para la central quedaron bajo la responsabilidad de la CNEA. Al mismo tiempo, la CNEA y KWU constituyeron la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A. (ENACE), que sería el arquitecto industrial de Atucha II y de las futuras centrales nucleares argentinas. Es así como Atucha II se convirtió en el primer proyecto de una central nuclear en el país que se apartaba totalmente del esquema de contratación "llave en mano".



Central Nuclear Atucha II (en construcción)

La decisión de alcanzar la autosuficiencia en materia nuclear llevó a la elección de reactores basados en uranio natural y agua pesada, línea que presentaba para la Argentina las siguientes ventajas:

- Permitir alcanzar localmente y prontamente el dominio total del ciclo del combustible, dada la capacidad científica, tecnológica e industrial disponible. Esta decisión fue sin duda la correcta para la época, ya que se estimó que el desarrollo autónomo de la tecnología de enriquecimiento de uranio no estaba en ese entonces al alcance del país. A pesar de ello, más tarde, se lograría su desarrollo.
- Permitir utilizar más racionalmente los recursos uraníferos, ya que el consumo de uranio por Kwh. generado es menor que en la línea de uranio enriquecido.
- Ofrecer la posibilidad de una mayor participación de la industria nacional por ser la fabricación de los distintos componentes, particularmente en el caso del reactor a tubos de presión, más asequibles a la capacidad del país.

La experiencia adquirida en el campo de los combustibles para los reactores de investigación permitió encarar con éxito la fabricación, primeramente en escala piloto y con tecnología provista por la empresa Siemens, de elementos combustibles para la Central Nuclear Atucha I. Paralelamente se completó el desarrollo local de la tecnología necesaria para la fabricación de elementos combustibles tipo CANDU para la Central Nuclear Embalse. Como culminación de ese proceso, se encaró la construcción de una fábrica de elementos combustibles en el Centro Atómico Ezeiza, que fue inaugurada en 1982, con capacidad para satisfacer la demanda de ambas centrales y en un futuro la de la Central Nuclear Atucha II, que abastece desde ese entonces en forma regular a las dos primeras.

De la misma manera, sobre la base de desarrollos "piloto" anteriores, en 1977 se decidió la construcción de una fábrica de aleaciones especiales, capacidad principalmente para la producción de tubos y semiterminados de zircaloy destinados a la fabricación de elementos combustibles, que fuera inaugurada también en el Centro Atómico Ezeiza en 1984 y provee de los mismos a la citada fábrica de elementos combustibles.

La estimación del potencial uranífero nacional con relación a la proyección de la demanda futura mostraba que, pese a utilizar reactores de uranio natural y agua pesada, las reservas nacionales sólo serían suficientes para un lapso relativamente reducido. Ello planteó la necesidad de prever incrementar en el futuro esas reservas mediante la utilización del plutonio generado en los elementos combustibles irradiados, reciclándolos, para fabricar combustibles de óxidos mixtos uranio-plutonio, lo que en los reactores de uranio natural equivale a duplicar las reservas.

Este ambicioso Plan Nuclear, a partir de 1982, fue primero demorado y luego abandonado a raíz de la recesión y crisis económica que sufrió el país, que determinó una importante reducción en el crecimiento de la demanda eléctrica y, posteriormente, debido al

descubrimiento de reservas significativas de gas, así como al incremento de la oferta de energía de origen termoeléctrico convencional debido a un substancial mejoramiento del rendimiento de esas plantas, como consecuencia de su privatización en el marco de un proceso de desregulación del mercado eléctrico.

Sin embargo, enmarcadas en el referido Plan Nuclear, se continuaron desarrollando las siguientes actividades:

- Incremento de la exploración, extracción y producción de concentrado de uranio, que fue elevada al orden de 180/220 toneladas de U3O8 por año.
- Construcción de una planta de purificación de concentrado y de producción de dióxido de uranio, con una capacidad de producción de 150 t/año, que fue inaugurada en 1982, en la Ciudad de Córdoba.
- Creación de la infraestructura de apoyo necesaria para la fabricación de elementos combustibles, tal como circuitos de prueba de alta presión y celdas calientes para análisis e inspección de elementos combustibles irradiados. El circuito de prueba de alta presión fue inaugurado en el Centro Atómico Ezeiza en 1983 y las celdas calientes en el mismo Centro, en 1990.
- Desarrollo de la tecnología de producción de esponja de circonio, para lo cual se puso en operación en 1978 una planta piloto en el Centro Atómico Bariloche, que determinaría la oportunidad y capacidad de producirlo a nivel industrial, con una capacidad de una tonelada/año.
- Desarrollo de tecnología nacional para la producción de agua pesada, a través del diseño, construcción y operación de una planta piloto, que se completó en Atucha en 1984 (posteriormente desmantelada), como base para la eventual construcción de futuras plantas que complementasen, de resultar en el futuro necesario, a la producción de la planta industrial construida en Arroyito.
- Desarrollo de la tecnología de reprocesamiento y de producción de elementos combustibles de óxidos mixtos, a cuyos efectos ya en 1969 se había efectuado, a nivel laboratorio, la separación química de plutonio, y a mediados de la década del setenta se inició la construcción de una planta piloto de reprocesamiento de elementos combustibles irradiados en el Centro Atómico Ezeiza, que no fue completada por perder prioridad al abandonarse parcialmente el Plan Nuclear en lo que a la construcción de centrales nucleoelectricas se refiere. También se encaró la fabricación experimental de un primer elemento combustible de óxidos mixtos, irradiado exitosamente en el reactor de investigación de Petten, en Holanda.
- Desarrollo de la capacidad de diseño, dirección de proyecto, ingeniería, gestión y seguimiento, supervisión de la construcción, montaje y puesta en marcha de centrales nucleares. A esos efectos,

durante la construcción de la Central Embalse, la CNEA asumió tareas de montaje de componentes, mecanismos y sistemas críticos del sector nuclear, como la calandria, los canales de combustible, los mecanismos de reactividad y el sistema de transferencia de combustible. Además acordó con las empresas contratistas que las empresas locales de ingeniería tomaran a su cargo tareas de montaje, tanto en el sector nuclear como en el convencional. Posteriormente, la CNEA asumió el rol de subcontratista principal para la construcción del sector nuclear de Embalse. Con ello se adquirió "know how" muy importante. La capacidad de ingeniería nacional se consolidó con la creación de la empresa ENACE, que se hizo cargo en su comienzo de las obras de la Central Nuclear Atucha II. Esta capacidad permitió a la CNEA encarar por su cuenta en 1988 la compleja reparación de la Central Nuclear Atucha I, motivada por la existencia de defectos en el diseño original de los canales para los elementos combustibles, y el diseño y elaboración de la ingeniería de un reactor modular de potencia innovativo, el CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares), con novedosas características, cuyo prototipo de 25 Mw. se encuentra en proceso de construcción.

- Promoción de la capacitación de la industria nuclear privada en la fabricación de los grandes componentes del sector nuclear. Así, una empresa privada argentina construyó los dos generadores de vapor, tres enfriadores del moderador y el presurizador para la Central Nuclear Atucha II, con la asistencia de medidas de promoción.

Complementariamente con lo anterior, se procedió a la creación, en 1978, de la Carrera de Ingeniería Nuclear en el Instituto de Física Balseiro, dotándolo de herramientas tales como un reactor de investigación y docencia de 500 Kw, el RA-6, diseñado y construido en el país por la empresa INVAP S.E., que se inauguró en 1982.

También se realizaron los estudios necesarios para determinar el lugar apropiado para depositar los residuos radiactivos de alta actividad. Luego de un relevamiento de los lugares que cumplían con las condiciones geológicas requeridas, se seleccionó uno, entre 200 favorables, en relación con el cual se completaron los estudios necesarios para comprobar que reuniese las demás condiciones exigibles para repositorios de tales características.

Paralelamente a lo anterior y no vinculado al Plan Nuclear sino a la necesidad de asegurar el abastecimiento de uranio enriquecido para la fabricación del combustible nuclear para los reactores de investigación propios y los que se exportasen - abastecimiento que nos era negado por nuestro proveedor habitual por razones políticas - se encaró el desarrollo de la tecnología del enriquecimiento de uranio por el método de difusión gaseosa. Este desarrollo fue llevado a cabo en Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro, a

partir de 1978, por la empresa INVAP S.E. por cuenta de la CNEA, y completado con éxito a nivel piloto en 1983, constituyendo uno de los mayores logros de la tecnología argentina, tanto en sus aspectos nucleares como convencionales.

También se intensificaron las actividades de investigación científica de apoyo, entre las que se destaca la construcción de un acelerador de iones pesados de 20 MV, que está en operación desde 1984.

En esta tercera etapa se incrementó notoriamente la capacidad de producción de radioisótopos mediante la incorporación en 1993, en el Centro Atómico Ezeiza, de un ciclotrón para la producción de los de vida corta y media, y la inauguración, en 1995, en el mismo Centro Atómico, de una planta de producción de molibdeno-99 por fisión, generador de tecnecio-99, principal radioisótopo de uso médico que abarca aproximadamente el 90% de todas las aplicaciones, que desde 2002 opera irradiando blancos de uranio de bajo enriquecimiento (20%), tecnología desarrollada y utilizada por primera vez a nivel mundial por la CNEA y que, a más de satisfacer la demanda del mercado nacional, efectúa actualmente exportaciones significativas principalmente al Brasil.



Planta de producción de molibdeno-99 (1995)

Además, a fin de proveer al abastecimiento de fuentes necesarias para el desarrollo del programa de irradiaciones y satisfacer en el futuro la demanda nacional de fuentes de irradiación para uso industrial y médico, la CNEA incluyó en las especificaciones técnicas de la Central Nuclear Embalse la capacidad de producir del orden de 3.000.000 de curios de cobalto-60 anualmente, y diseñó e inauguró en 1977 una instalación para la producción de fuentes selladas de ese radioisótopo.

En el campo de la medicina nuclear, complementando la actividad desarrollada en décadas anteriores en el Centro de Medicina Nuclear del Hospital de Clínicas y en el Centro Oncológico de Medicina Nuclear y el Servicio de Radioterapia, ambos del Instituto de Oncológica

Ángel H. Roffo, la CNEA junto con la Provincia de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo establecieron en 1991 la Fundación Escuela de Medicina Nuclear (FUESMEN), en la ciudad capital de la mencionada provincia. Es éste un centro médico de excelencia, con equipamiento de los más avanzados de Latinoamérica, contando con el que era por ese entonces el único tomógrafo por emisión de positrones (PET) con ciclotrón asociado de la región y, fundamentalmente, con un cuerpo profesional altamente capacitado en el que interactúan una rara simbiosis de médicos, físicos e ingenieros nucleares que le permiten el desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico y terapéuticos a la altura de los centros más desarrollados del mundo. Con posterioridad, a partir de 2003, la CNEA junto con la FUESMEN, encararon un proyecto que significó dotar al conglomerado bonaerense de un centro de última generación de diagnóstico por la técnica de emisión de positrones, de investigación y desarrollo, y de formación de recursos humanos en el área de producción de radiofármacos específicos de vida media corta, la Fundación Centro de Diagnóstico Nuclear (FCDN), inaugurado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en 2007, dotado entre otro equipamiento, de un tomógrafo por emisión de positrones asociado a un tomógrafo computado helicoidal (PET/CT) de última generación, con el que se realizan servicios asistenciales de alta complejidad y diagnóstico de enfermedades oncológicas, cardiológicas y neurológicas.



Centro de Diagnóstico Nuclear – PET/CT (2007)

La proyección comercial internacional

Consecuencia del desarrollo descrito, la Argentina se ha convertido en uno de los muy pocos países en desarrollo internacionalmente reconocidos y respetados como proveedores confiables de instalaciones nucleares de diversos tipos. Como ejemplos más exitosos merecen señalarse las siguientes exportaciones (algunas de ellas ya mencionadas), a:

- Perú, en los setenta, de un reactor experimental (el reactor RP-0) y de un centro atómico “llave en mano” dotado de un reactor de investigación y producción de 10 Mw. (el reactor RP-10) y una planta para la producción de radioisótopos para uso médico, por un

monto del orden de 110 millones de dólares.

- Argelia, en los ochenta, de un reactor de experimental de 1 Mw. (el reactor NUR) y la posterior de una fábrica de elementos combustibles para reactores de investigación.
- Cuba, también en los ochenta, de una planta de producción de radiofármacos.
- Egipto, en los noventa, de un reactor de investigación y producción de radioisótopos de 20 Mw. (el reactor ETRR) que involucra unos 100 millones de dólares y de una planta de producción de molibdeno-99 de fisión.
- Australia, en la presente década, de un reactor de investigación y producción de última generación de 20 Mw. (el reactor OPAL) por un monto de 180 millones de dólares y de una planta de producción de molibdeno-99 de fisión.



Reactor OPAL construido en Australia por INVAP S.E.

También se han exportado equipos de telecobaltoterapia a Bolivia, Brasil, Colombia, Egipto, India y Vietnam y 19 centros de terapia radiante a Venezuela.

Conclusión

La actividad nuclear en la Argentina configura la historia de un desarrollo de “tecnología de punta” altamente exitoso y casi único en los anales del campo nuclear. A través de seis décadas el país ha demostrado su capacidad para ser protagonista en las múltiples aplicaciones de la energía nuclear, incluida la generación nucleoelectrónica y, en la primera década del siglo XXI continúa contando con las capacidades necesarias para consolidar su presencia en esta esfera vital del conocimiento, capaz de logros significativos en la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la producción, resultado de los esfuerzos de sus idóneos recursos humanos.