INFRAESTRUCTURA PARA LA PRODUCCIÓN
ENERGÍA

ESCANEÁ Y DESCARGÁ
EL ESTUDIO COMPLETO

DESARROLLO DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Ing. Juan Pablo Ordoñez

AREA DE PENSAMIENTO ESTRATEGICO

CAMARCO
Cámara Argentina de la Construcción

CAMARCO
Cámara Argentina de la Construcción

Contenido

1. Resumen Ejecutivo 3
2. Introducción y objetivos del trabajo 6
3. Descripción del Sistema Nuclear Argentino 7
   3.1. Breve historia 7
   3.2. Conformación. Actores. Actividades. 8
   3.3. Marco legal 10
   3.4. El ciclo de combustible nuclear 11
      3.4.1. Exploración 12
      3.4.2. Minería de uranio 12
      3.4.3. Purificación / Conversión a UO_2 12
      3.4.4. Enriquecimiento 12
      3.4.5. Elementos combustibles 13
      3.4.6. Agua pesada 14
      3.4.7. Generación de Nucleoelectricidad 14
      3.4.8. Restitución ambiental de la minería del uranio 15
   3.5. Ciclo de radioisótopos 16
   3.6. Medicina nuclear 17
4. Planes de inversión para el período 2024-2033 19
   4.1. Proyectos de centrales nucleares 19
      4.1.1. Proyecto CAREM 20
      4.1.2. Proyecto Atucha III 22
      4.1.3. Central CANDU 25
      4.1.4. Proyecto de extensión de vida de la central nuclear Atucha I 26
   4.2. Proyecto reactor de investigación multipropósito RA-10 26
   4.3. Enriquecimiento de uranio 28
   4.4. Nueva planta de dióxido de uranio en Formosa (Dioxitek) 28
   4.5. Plan nacional de medicina nuclear 29
      4.5.1. Centro de protonterapia 30
5. Necesidad de un plan energético a largo plazo 32

CAMARCO
Cámara Argentina de la Construcción

1. Resumen Ejecutivo

Durante el periodo 2019-2023 el sector nuclear ha avanzado a un ritmo inferior a lo planificado. Esto se debió en primer lugar a la inesperada pandemia, que llevó a la suspensión de actividades en muchas áreas por casi todo el año 2020 y en segundo lugar a que los presupuestos que se han otorgado a los distintos proyectos no han estado de acuerdo a las previsiones del sector.

En la Comisión Nacional de Energía Atómica ha habido un avance interesante en los proyectos CAREM y RA-10. Sin embargo, la pandemia y la insuficiencia presupuestaria han causado que las fechas de puesta en marcha del CAREM y del RA-10 se hayan postergado. La puesta en marcha del RA-10 está programada para fines de 2024, y la puesta en marcha del CAREM para 2027.

Es muy auspicioso el panorama en medicina nuclear. Dada la continuidad de disponibilidad presupuestaria para estos proyectos, ha tenido un avance muy significativo el Centro de Protonterapia adyacente al Hospital Roffo y se ha podido avanzar en obras pendientes en otros centros médicos nucleares.

La Comisión Nacional de Energía Atómica también ha podido continuar con tareas de investigación y desarrollo en aplicaciones nucleares, entre ellas, con el proyecto LASIE, de enriquecimiento por laser.

En la generación nucleoeléctrica, si bien no se ha podido comenzar con la ejecución del proyecto Atucha III, central nuclear del tipo Hualong a ser provista por la empresa CNNC de China, ha proseguido el avance en las negociaciones tendientes a su concreción. El Plan de Acción para Nucleoeléctrica Argentina, aprobado por el Poder Ejecutivo Nacional en junio de 2021 fija como objetivos estratégicos prioritarios la concreción de la nueva central Atucha III, y retoma el proyecto de desarrollo nacional de la tecnología de la central CANDU. El Plan de Acción se completa con otros objetivos adicionales. Desde su publicación a mediados de 2021 se ha avanzado en la obtención de estos objetivos. En abril de 2022 se concluyeron las negociaciones contractuales con CNNC por la central Atucha III, restando definir los acuerdos financieros y las condiciones de transferencia de tecnología del combustible nuclear. Se reinició, luego de la pandemia y a cargo de NA-SA, la obra civil del CAREM y se relanzaron los proyectos de extensión de vida de Atucha I y de depósito de combustible seco de Atucha II.
También han sido positivas en el período las actividades internacionales. En 2022 se puso en marcha una planta de producción de radioisótopos en la India, se terminó la ingeniería básica y comenzó la ingeniería de detalle del reactor PALLAS en Países Bajos y continúan proyectos de reactores de investigación en otros países. En 2023 comenzó la construcción del reactor PALLAS. Estas actividades son llevadas adelante por INVAP, con el imprescindible apoyo de la CNEA en particular y del resto del sector argentino en general.

En las inversiones previstas para la próxima década se incluyen:

- La Central Nuclear Atucha III, la extensión de vida de Atucha I, el almacenamiento de combustibles para Atucha II y la Quinta Central Nuclear (proyectos de Nucleoeléctrica Argentina).
- La terminación del proyecto RA-10.
- La terminación del prototipo del reactor CAREM y el comienzo del proyecto de una central CARM comercial.
- Diversos proyectos del ciclo de combustible nuclear, incluyendo la terminación de la nueva planta de Dioxitek y proyectos de enriquecimiento de uranio.
- Varios proyectos de medicina nuclear, entre ellos la terminación de centros en construcción y la construcción de nuevos centros en varias provincias.

El panorama de la energía nuclear a futuro sigue siendo muy interesante.

Durante estos últimos 5 años se ha consolidado en el mundo la visión de la energía nuclear como un componente insustituible en la transición energética hacia una economía libre de emisiones de gases de efecto invernadero. Muchos países han retomado planes para instalación de centrales nucleares para generación de electricidad y nuevos proyectos ya han comenzado en muchas partes.

La necesidad de una componente nuclear en la matriz de generación es también clara para Argentina: si se plantea una eventual prescindencia de la generación fósil, la generación nucleoeléctrica es necesaria para proveer electricidad de base cerca de la demanda.

Sin embargo, sin una perspectiva de décadas, los proyectos nucleares resultan muy difíciles de concretar: la experiencia internacional ha demostrado que la energía nuclear es competitiva cuando se construyen “flotas” de no menos de cuatro reactores de idéntico diseño. En el mercado argentino, esto significa décadas de planificación.

Por eso resulta necesario en el período que sigue realizar un esfuerzo de planificación energética para el país con un horizonte de al menos 30 años. Este horizonte de planeamiento va a permitir definir un programa de obras energéticas (fundamentalmente, centrales de generación y líneas de alta tensión) a desplegar en las próximas décadas. Un programa de esta envergadura va a permitir tomar decisiones económicas, comerciales y tecnológicas teniendo en cuento las economías de escala que un programa a largo plazo permite. Y, fundamentalmente, un programa con este horizonte ve a permitir compatibilizar la explotación a pleno de las recursos de Vaca Muerta con la imprescindible transición energética hacia combustibles no fósiles.

En ese sentido es muy auspiciosa la publicación por la Secretaría de Energía del informe “Lineamientos y Escenarios para la Transición Energética a 2050”. Se destaca que en este informe se prevé la instalación de casi 6000 MWe nucleares nuevos. Se prevé la emisión de una revisión del informe para fin de 2024. Es imprescindible el sector nuclear realice la planificación necesaria para incluir en esta nueva versión las

acciones requeridas para poder cumplir con el objetivo planteado de 6000 MWe nucleares nuevos.

2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

El presente informe se ha elaborado con el objeto de analizar y, a partir de esto, describir las propuestas de inversión del sector nuclear para el período 2024 a 2033 del sector nuclear argentino (SNA). Este informe es una actualización de los informes de 2015 y de 2019.

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

Seguidamente se realiza una descripción de los proyectos en ejecución. Estas actividades son la base sobre la cual se proyecta la tercera etapa de este trabajo que es la proyección del SNA para el período 2023-2034. Se plantea un escenario optimista para la realización de obras que ya fueron anunciadas y otras complementarias necesarias de acuerdo a la visión que tiene el SNA de las actividades que realiza.

En el punto siguiente se justifica la necesidad de una política y un programa energético a mediano y largo plazo para habilitar la inclusión económica de las centrales nucleares en la matriz energética y permitir que el plan de introducción de centrales nucleares sea acompañado por un programa de desarrollo científico y tecnológico de las industrias asociadas.

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

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA NUCLEAR ARGENTINO

3.1. Breve historia

El uso y aprovechamiento de la tecnología nuclear para usos pacíficos tiene una historia en Argentina de más de 70 años. El sector nuclear nace en Argentina formalmente el 31 de mayo de 1950, con la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Desde su inicio hasta la fecha el desarrollo nuclear argentino transitó varias fases de crecimiento y contracción.

De manera breve podemos mencionar estas etapas como la etapa del nacimiento (1950-1958) que culmina con la construcción del reactor de investigación RA-1. Luego continua la etapa de la consolidación (1958-1966) donde se destaca la construcción del reactor RA-3 como gran eje, aunque también resalta la participación que tiene CNEA, en colaboración con la Asociación de Industriales Metalúrgicos (actual ADIMRA), que crean el SATI (Servicio de Asistencia Tecnológica a la Industria) proveedora de servicios tecnológicos a la industria metalmecánica argentina, destacándose éste como uno de los ejes rectores del trabajo de CNEA.

El siguiente período (1966-1974) es el de la entrada en la generación nucleoeléctrica. En 1964 se crea una comisión para realizar un estudio de prefactibilidad para la instalación de una central nuclear en la zona de Buenos Aires – Litoral. Dicho estudio fue el germen de la Central Nuclear Atucha I, que entró en operación en el año 1974. Luego de la entrada de Atucha I, sigue el período (1974-1984) de dominio del ciclo de combustible nuclear, donde a finales de 1983 el flamante presidente Raúl Alfonsín anuncia que Argentina logró enriquecer uranio en la planta de Pilcaniyeu. En este período se construye la central nuclear Embalse.

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

La Ley 24.804 crea la Autoridad Regulatoria Nuclear, la Empresa Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA), a cargo de la operación y construcción de centrales nucleares y deja a cargo de CNEA el resto de las tareas del ciclo nuclear, la medicina nuclear y las actividades de investigación y desarrollo.

[1] http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/10000-14999/13030/norma.htm
[2] http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/40000-44999/42924/norma.htm
[3] Ley 24.804: CAPITULO V: Privatizaciones. ARTICULO 34.

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

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

1 - Generación nucleoeléctrica

2 - Aplicaciones de la tecnología nuclear a la salud

Como estableció la ley 24.804, la finalización de la CNA-II queda a cargo de NA-SA, con apoyo por parte de CNEA.

3.2. Conformación. Actores. Actividades.

Desde la sanción de la Ley 24.804, el sector nuclear se compone de tres grandes organizaciones; la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) y Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima (NA-SA).

Estas tres instituciones son las más representativas del SNA, pero no son las únicas. El sector nuclear comprende otras empresas que se crearon para responder a necesidades específicas. Se detallan a continuación las empresas del sector nuclear argentino con participación estatal.

CONUAR S.A.: Combustibles Nucleares Argentinos S. A. se creó en el año 1981 con el objetivo de convertirse en la proveedora de los combustibles nucleares para las centrales nucleares operadas y a operar en Argentina. La empresa tiene como insumos el dióxido de uranio que fabrica Dioxitek y las aleaciones que se elaboran en FAE S.A.. Elabora las pastillas de UO2 y realiza el ensamble de los elementos combustibles para Atucha I, Atucha II y Embalse, además de algunos elementos combustibles para reactores de investigación. CONUAR S.A. es una empresa mixta, propiedad en un 67,3% del Grupo Perez Companc, perteneciendo a CNEA el resto de las acciones. Está ubicada en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), próximo al Aeropuerto internacional.

DIOXITEK S.A.: Es una sociedad anónima estatal creada en 1997 cuyas acciones corresponden en un 99% a CNEA y un 1% a la Provincia de Mendoza. La principal actividad de la empresa es la conversión a dióxido de uranio (UO2) del concentrado de uranio, tarea que viene realizando desde el año 1982, en el Complejo Fabril Córdoba

(CFC), ubicado en el barrio de Alta Córdoba en la ciudad del mismo nombre. En 2015 se inició la construcción de una nueva planta en Formosa.

ENSI S.E.: Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería Sociedad del Estado. Esta empresa se creó en 1989 por la ley 1827 de la legislatura neuquina. Se creó para realizar la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) que CNEA había adquirido a la empresa suiza SULZER a mediados de los ’80. Su objetivo es la operación de la planta y la comercialización del agua pesada. Está ubicada sobre el embalse compensador de Arroyito (aguas abajo del Chocón) en la provincia de Neuquén. La participación accionaria de la misma corresponde en un 51% a la provincia de Neuquén y un 49% a CNEA.

FAE S.A.: Fábrica de Aleaciones Especiales S.A. Esta empresa es una subsidiaria de CONUAR, fue creada en 1986 para realizar el maquinado de las aleaciones de zircaloy necesarias para los elementos combustibles. Su ubicación es al lado de CONUAR.

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

FUESMEN: Fundación Escuela de Medicina Nuclear. Ubicada en Mendoza, surgió a partir de una idea de CNEA, que en 1986 puso en marcha una escuela de posgrado en medicina nuclear y radioisótopos, impulsada por su afán de promover las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en el campo de la salud. Tal iniciativa encontró amplia resonancia en la Universidad Nacional de Cuyo y en el gobierno de la Provincia de Mendoza, que formalizaron la creación de una entidad. Desde aquel comienzo, el propósito de la CNEA fue dotar a la FUESMEN de la infraestructura académica y técnica que asegurase la creación de un ámbito de excelencia en la especialidad, para lo cual resultaba imprescindible proveerla de la tecnología más avanzada. En tal sentido, invirtió en diversos equipos de diagnóstico por imágenes, rayos X, resonancia magnética nuclear y radioterapia. Entre las incorporaciones más recientes, cuenta con equipos de tomografía por emisión de positrones combinados con tomografía computada (PET-CT, por su sigla en inglés) y radioterapia guiada por imágenes (IGRT, por su siglas en inglés). En 2011 fue inaugurada una nueva sede de la FUESMEN en la ciudad de San Rafael, llevando al sur de Mendoza los beneficios de la energía nuclear aplicada a la salud.

INTECNUS: Fundación creada por la CNEA para administrar el hospital y centro de investigación en medicina nuclear ubicado en Bariloche, contiguo al Centro Atómico Bariloche.

INVAP S.E.: Empresa creada en el año 1976 con el objetivo de desarrollar y comercializar tecnología derivada de las investigaciones nucleares. Comenzó desarrollando tecnología propia del ámbito nuclear y casi exclusivamente para CNEA. Con el tiempo fue ampliando su campo de acción, y en la actualidad se especializa en satélites, radares, reactores de investigación, y medicina nuclear, entre otras actividades. Su sede central está ubicada en San Carlos de Bariloche, y tiene oficinas en diversos lugares. La propiedad de la empresa es en un 100% de la Provincia de Rio Negro, pero por un convenio entre la Provincia y CNEA, CNEA aporta 2 de los 7 miembros del directorio de la empresa.

NA-SA: Nucleoeléctrica Argentina Sociedad Anónima es la empresa encargada de la operación y la construcción de centrales nucleares. Las acciones le pertenecen en un 79% a la Secretaría de Energía de la Nación, un 20% a la CNEA y un 1% a ENARSA.

Además de los mencionados centros, CNEA participa en otras actividades en medicina nuclear en asociación con el Instituto de Oncología “Angel Roffo” y con el Hospital de Clínicas José de San Martín. Hay que destacar que la actividad relacionada con la medicina nuclear se realiza en todo el país, contabilizándose más de 430 centros de diagnóstico y/o tratamiento.

3.3. Marco legal

Las actividades de la CNEA se desarrollan dentro de un marco legal variado, con dos normas principales que tutelan su funcionamiento: la Ley Nacional de la Actividad Nuclear N° 24.804 y con su Decreto Reglamentario Nº 1.390/98[4].

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

En el año 2009 se aprobó en el Congreso de la Nación la Ley Nº 26.566[7] donde se declaran de interés nacional las actividades que permitan concretar una cuarta central, la extensión de la vida útil de la Central Nuclear Embalse y el Prototipo de Reactor CAREM.

Además, Argentina es firmante de numerosos tratados y acuerdos internacionales para asegurar el uso pacífico de la energía nuclear. Entre los principales podemos mencionar al Tratado de Tlatelolco[8], el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares[9], el acuerdo

[4] http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/54706/texact.htm
[5] http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/53767/norma.htm
[6] http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/63894/norma.htm
[7] http://www.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/160000-164999/162106/norma.htm
[8] El Tratado de No Proliferación Nuclear es la piedra fundamental de los regímenes de No Proliferación. El 22 de diciembre de 1994 el Congreso de la Nación Argentina aprobó el TNP.
[9] Tratado para la prohibición de las armas nucleares en América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco) crea una zona libre de armas nucleares en la región. Entró en vigencia en 1968.

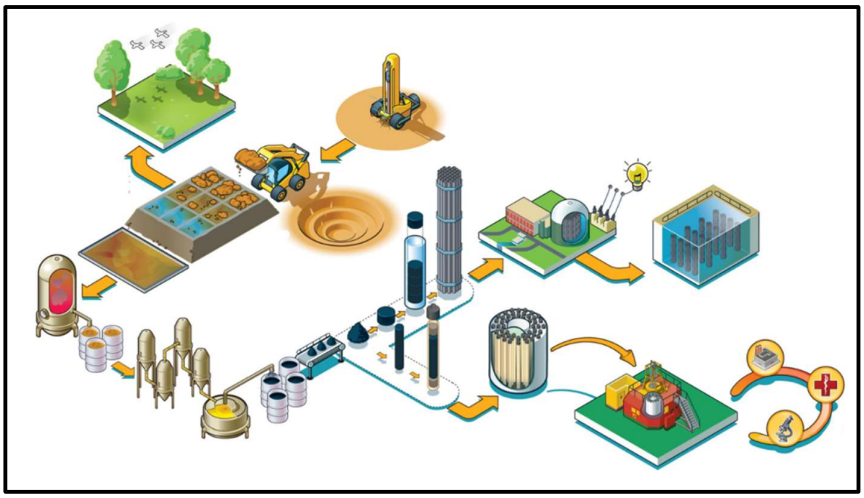
para la creación de la Agencia Brasilero Argentina de Contabilidad y Control de Material Nuclear[10] y la participación en el Grupo de Proveedores Nucleares[11] (del cual Argentina ha ejercido la presidencia en más de una ocasión), entre los más destacados[12].

3.4. El ciclo de combustible nuclear

Se denomina ciclo de combustible nuclear (CCN) a todas las actividades relacionadas con el manejo del uranio para abastecimiento de un reactor nuclear. Esto incluye actividades mineras, de purificación y conversión, fabricación de elementos combustibles, uso del combustible en la central como así también el tratamiento de los combustibles una vez extraídos de la central nuclear.

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

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



Esquema del Ciclo de Combustible Nuclear que se realiza en Argentina. ©CNEA

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

[11] El Grupo de Proveedores Nucleares, comúnmente llamado por sus siglas en inglés "NSG" (Nuclear Suppliers Group), es un acuerdo informal de 34 Estados que aceptaron un cuerpo de directrices con las que regulan sus exportaciones de materiales nucleares, de manera de impedir desvíos de material de uso dual.

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

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

3.4.1. EXPLORACIÓN

Esta actividad abarca todo el trabajo desde el reconocimiento de grandes extensiones geológicas para el estudio de la favorabilidad uranífera, hasta los cateos, manifestaciones de descubrimientos y estudios de cuantificación de reservas en los yacimientos.

3.4.2. MINERÍA DE URANIO

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

3.4.3. PURIFICACIÓN / CONVERSIÓN A UO_2

El siguiente proceso del ciclo de combustible es la conversión de los concentrados de uranio que se extraen de la mina, comúnmente llamados "*yellow cake*", en dióxido de uranio grado nuclear. Este proceso de conversión y purificación, en Argentina se realiza en el Complejo Fabril Córdoba (CFC) que está a cargo de la empresa Dioxitek S.A.

La localización del CFC en la ciudad de Córdoba trajo algunos roces con el gobierno local por lo que la empresa está en pleno proceso de reubicación, con la construcción de una planta nueva en el polo científico tecnológico de Formosa.

3.4.4. ENRIQUECIMIENTO

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

Las proporciones en las que se encuentra el U-235 en la naturaleza son del orden del 0,72%, siendo el resto U-238 junto con unas trazas de U-234. El U-235 es el uranio útil para reactores térmicos. Para mantener una reacción nuclear en cadena estable es necesario hacer una de dos cosas: o aumentar la proporción de U-235, es decir,

enriquecer el uranio o, alternativamente, disminuir las pérdidas de neutrones por absorción en el refrigerante y moderador, lo que se logra utilizando agua pesada. La primera combinación da origen a los reactores tipo PWR, de uranio enriquecido y agua liviana, mientras que la segunda resulta en los reactores PHWR, de uranio natural y agua pesada.

Las proporciones de U-235 utilizadas en los reactores de producción de energía eléctrica pueden ser del 0,72%, (uranio natural), usado en los reactores de agua pesada, al 3 al 5%, usado en los reactores de agua liviana. Los reactores de investigación, aquellos donde se producen la mayoría de los radioisótopos utilizados en fines medicinales, utilizan U-235 al 20%. Enriquecimientos mayores al 20% en U-235 son considerados de uso militar. Por esa razón es que el desarrollo de la tecnología de enriquecimiento es políticamente sensible.

Existen diversos métodos para enriquecer uranio: los más usados son el de difusión gaseosa y el de centrífugas. Hay también muchos estudios en el desarrollo de métodos de enriquecimiento por laser. Argentina desarrolló en los 80 el método de difusión gaseosa, construyendo una planta piloto en Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro. También se hicieron y se continúan haciendo desarrollos en enriquecimiento con centrífugas y en enriquecimiento con laser.

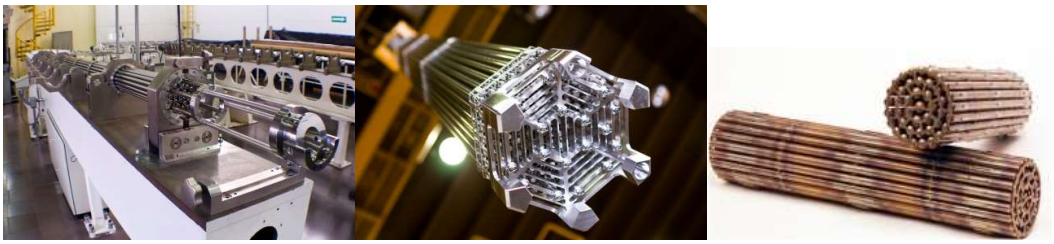
Vista del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu.

3.4.5. ELEMENTOS COMBUSTIBLES

El paso siguiente a la obtención del uranio purificado es la elaboración de los elementos combustibles. Los polvos de UO_2 son compactados y sintetizados en pastillas cerámicas cilíndricas de aproximadamente 1 cm de diámetro por 1 cm de largo. Estas pastillas se

insertan en vainas de una aleación de circonio y varias vainas se ensamblan para formar lo que se llama elemento combustible.

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



Elementos combustibles de Atucha II, CAREM 25 y Embalse

En nuestro país, el ensamble de los elementos combustibles se realiza en la fábrica de CONUAR, en Ezeiza. Por otra parte, las vainas de Zircaloy se fabrican en la empresa hermana, FAE.

3.4.6. AGUA PESADA

Un elemento esencial para las centrales que funcionan con uranio natural es el agua pesada (D_2O). El deuterio (D) es un isótopo del hidrógeno (H) que se encuentra en la naturaleza en una proporción de 0,015% (uno de cada 6500 átomos de hidrógeno es un deuterio). Su principal función dentro de un reactor es ayudar a la economía de neutrones, ya que absorbe menos neutrones que el hidrógeno. Esto permite usar uranio natural para sostener una reacción en cadena controlada.

En Argentina, el agua pesada se produce en la planta industrial de agua pesada (PIAP) que pertenece a la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería (ENSI). La planta, ubicada sobre el río Limay, en la presa Arroyito, puede producir hasta 200 toneladas de agua pesada por año por el método de intercambio isotópico monotérmico amoníaco–hidrógeno. Actualmente la planta está paralizada, habiéndose tomado durante 2023 la decisión de reiniciar su operación en 2024.

3.4.7. GENERACIÓN DE NUCLEOELECTRICIDAD

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

aprovecha: es una fuente de energía térmica (calor) y radiante (radiaciones). Si se lo diseña para aprovechar la energía térmica, se llama reactor de potencia. En cambio, si se diseña para aprovechar las radiaciones, es un reactor de investigación.

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

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

Las centrales nucleares en funcionamiento en el país son tres:

- Central Nuclear Atucha I
- Central Nuclear Embalse
- Central Nuclear Atucha II

Además, CNEA está construyendo en Lima, cerca de las centrales Atucha, una central nuclear de baja potencia de diseño innovador, el reactor CAREM. CAREM es el acrónimo de Central ARgentina de Elementos Modulares. El proyecto CAREM se inscribe en la línea de los reactores pequeños y medianos (SMR, por las siglas en inglés), que buscan disminuir el precio de la generación nucleoeléctrica a través de la reducción de la escala, lo que permite sistemas de seguridad más sencillos, modularización de componentes reduciendo el trabajo en el sitio y menos requerimientos de capital. El CAREM es uno de los proyectos más avanzados de este tipo, aunque es solo una planta de demostración del concepto, ya que tiene una potencia de 32 MW y para ser económicamente competitivo, debería tener una potencia al menos cuatro veces más alta y construirse cuatro unidades idénticas con un año de intervalo entre el comienzo de cada una.

3.4.8. RESTITUCIÓN AMBIENTAL DE LA MINERÍA DEL URANIO

La restitución ambiental de la minería del uranio consiste en devolver, en la medida de lo posible, a condiciones previas a la explotación a los yacimientos en los cuales se produjo uranio y que no se planea producir más. Estas actividades se realizan a través del Programa de Restitución Ambiental de la Minería del Uranio –PRAMU–, un programa

que se viene desarrollando en CNEA desde el año 1997 ya que por ley (25.018 Ley Nacional de Residuos Radiactivos) dicha actividad le corresponde.

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

3.5. Ciclo de radioisótopos

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

Existen, a grandes rasgos, dos formas de producción de radioisótopos. La primera es en un reactor, donde se obtienen a partir del bombardeo con neutrones de blancos apropiados. La segunda es a través del bombardeo con protones de otros blancos en un ciclotrón. Dependiendo del tipo de radioisótopo a obtener y sus características físicas, se procede en uno u otro método.

Aunque existen numerosos radioisótopos que se utilizan, la mayoría de los usos se concentran en unos pocos. Estos son básicamente el molibdeno 99 (Mo-99), el iodo 131 (I-131), el flúor 18 (F-18) y el cobalto 60 (Co-60). Los dos primeros son producidos en un reactor, y son productos de la fisión del U-235. El F-18 se produce en ciclotrones que deben estar cerca de la demanda, ya que la vida media[13] de este radioisótopo es de 109 minutos. El Co-60, como ya lo mencionamos, se produce en la central nuclear Embalse. Está incrementado en forma muy rápida el uso de lutecio 177 (Lu-177), que se produce por absorción de neutrones en un reactor de investigación.

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

[13] La vida media (o período de semi-desintegración) es el tiempo que debe pasar para que la actividad decaiga a la mitad de su valor.

En Argentina los radioisótopos se producen en el reactor RA-3, inaugurado en 1966. Dada la edad de este reactor, la CNEA, con la asistencia de INVAP, está construyendo un nuevo reactor de producción de radioisótopos, el RA-10, ubicado en el Centro Atómico Ezeiza, en las cercanías del RA-3.

Argentina, a través de la empresa INVAP, se ha transformado en el principal diseñador y constructor de reactores de investigación en el mundo, habiendo exportado reactores a Perú, Argelia, Egipto y Australia y estando en diversas etapas de proyecto reactores de origen argentino en Holanda, Brasil y Saudi Arabia.

La empresa INVAP, basándose en tecnología desarrollada por CNEA, también ha exportado plantas de producción de radioisótopos a Cuba, Egipto, Argelia, Australia e India.

3.6. Medicina nuclear

La medicina nuclear diagnostica y trata enfermedades empleando pequeñísimas cantidades de radiofármacos. Estos radiofármacos, producidos a partir de radioisótopos, se inyectan en órganos, huesos o tejidos específicos y permiten detectar alteraciones o enfermedades en forma precoz, o ayudar a realizar tratamientos efectivos.

Para el diagnóstico, radiofármacos basados en isótopos radiactivos de elementos como el iodo y el molibdeno permiten conocer el funcionamiento de determinados órganos. Se los denomina "trazadores". Las principales aplicaciones de estas técnicas están relacionadas con la detección del cáncer en tiroides, hígado, vesícula, intestinos, y pulmón, entre otros y para estudios de hemodinámica.

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

Las principales ventajas de este tipo de diagnósticos es que no son invasivos, es decir que no se requiere de cirugía o el corte de la piel u otros órganos y que se pueden realizar estudios funcionales, donde a través de la medicina nuclear se observa el funcionamiento de los sistemas, no solo la forma de los órganos. La radiación no produce molestias durante la aplicación, y al estar controlada su aplicación el riesgo de las radiaciones es bajo. Hoy existen casi cien tipos de evaluaciones diferentes que se realizan mediante la medicina nuclear y no hay órgano que no pueda ser explorado por esta técnica.

Para el tratamiento, las radiaciones ionizantes se utilizan principalmente para destruir lesiones cancerosas. Para ello, se expone el tumor a dosis procedentes de fuentes de

radiactividad externas (equipos de rayos X, radioterapia con fuente de cobalto 60) o internas (braquiterapia, radioterapia metabólica).

La CNEA, a través de Fundaciones (FUESMEN, FDCN, INTECNUS), opera tres centros de medicina nuclear, uno en Mendoza, otro en CABA y el tercero en Bariloche. CNEA, con la asistencia de INVAP, también ha diseñado y construido otros hospitales nucleares en diversas provincias. Está en vías de terminación el centro nuclear contiguo al hospital Roffo, que introducirá por primera vez en Latinoamérica las técnicas de protonterapia. INVAP también ha construido diversos centros de medicina nuclear en Venezuela y Bolivia.

4. PLANES DE INVERSIÓN PARA EL PERÍODO 2024-2033

4.1. Proyectos de centrales nucleares

Como se destaca en el punto 4 de este informe, para encuadrar el aporte de la nucleoelectricidad en la matriz energética hace falta un plan energético de mediano y largo plazo. El informe sobre los lineamientos para la transición energética a 2050, reciente publicado por la Secretaría de Energía estima (aunque de forma preliminar que debe ser ajustada en la revisión del mismo informe para diciembre de 2024) una contribución del sector nuclear de casi 6000 Mwe nuevos. Con esta base es necesario revisar las planes actuales, que prevén una central china tipo Hualong en Atucha (Atucha III) y una quinta central tipo CANDU. Es imprescindible, antes de confirmar estas previsiones, diagramar un esquema que permita cumplir con la inclusión de 6000 MWe nuevos, definiéndose si las nuevas centrales serán tipo Hualong, CANDU y/o CAREM. La experiencia mundial demuestra que energía nuclear resulta mucho más competitiva si se basa en la construcción de series de unidades idénticas. Por eso se debe determinar lo antes posible cuál va a ser el tipo de central elegida y cuál su secuencia de construcción. Esta tarea debe ser liderada por la Secretaría de Energía, con la participación esencial de NA-SA y CNEA y la asistencia de las otras instituciones y empresas del sector nuclear y científico-tecnológico.

Al respecto, se citan los objetivos del Plan Estratégico de NA-SA de 2021:

- Construir la nueva central Atucha III,
- Retomar el proyecto de desarrollo nacional de la tecnología de la central CANDU,
- Operar y mantener las tres Centrales Nucleares en funcionamiento bajo el precepto de la mejora continua de su desempeño, teniendo como guía los estándares de seguridad y eficiencia internacionales.
- Extender la vida útil de la Central Nuclear Atucha I en función del régimen dispuesto por el Artículo 15 de la Ley N° 26.566.
- Continuar y llevar a cabo los proyectos de almacenamiento y conservación transitoria de elementos combustibles gastados en las centrales nucleares bajo el mismo régimen.
- Iniciar los proyectos de tratamiento y almacenamiento transitorio de residuos de las centrales nucleares bajo el mismo régimen.
- Continuar con el proyecto de utilización de uranio levemente enriquecido (ULE) en el combustible de la Central Nuclear Atucha II.
- Prestar asistencia, a requerimiento de la CNEA, en la construcción del Proyecto CAREM de acuerdo con lo dispuesto por el Artículo 17 de la Ley N° 26.566.
- Participar activamente de las actividades de la Asociación de Operadores Mundiales de Centrales Nucleares (WANO) en el país y en el mundo, así como del CANDU Ownwers Group (COG), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y otros organismos internacionales vinculados a la actividad nuclear.
- Incrementar las relaciones con Electronuclear Brasil con el fin de mejorar la operación de las plantas y la gestión de proyectos de manera recíproca.

- Fortalecer el desarrollo del personal, haciendo eje en la capacitación de los jóvenes profesionales con el fin de formar cuadros técnicos para la gestión futura de la empresa.
- Incorporar la perspectiva de género y diversidad en toda la empresa.
- Gestionar frente a las autoridades competentes las licencias ambientales de las futuras centrales nucleares.
- Realizar la evaluación preliminar de sitios para la localización de las plantas futuras.
- Incrementar las relaciones con las comunidades donde se asientan las plantas y mejorar las relaciones con los grupos de interés.
- Fomentar el desarrollo de proveedores locales, tanto de insumos y componentes como de servicios.

Se describen a continuación los tres proyectos principales, CAREM, Atucha III, y un nuevo CANDU.

4.1.1. PROYECTO CAREM

El CAREM es el primer reactor nuclear de potencia íntegramente diseñado y construido en la Argentina, que reafirma con este nuevo hito su capacidad para el desarrollo y puesta en marcha de centrales nucleares, perfilándose a su vez como uno de los líderes mundiales en el segmento de reactores modulares de baja y media potencia.

El reactor CAREM se destaca por un riguroso estándar de seguridad aplicado desde el diseño, obtenido mediante soluciones de ingeniería que también simplifican su construcción, operación y mantenimiento. Se prevé que alrededor del 70% de sus insumos, componentes y servicios vinculados sea provisto por empresas argentinas certificadas bajo los exigentes estándares internacionales de calidad.

Esta primera versión de los reactores tipo CAREM será capaz de generar 32 megavatios eléctricos.

El prototipo está siendo construido en Lima, provincia de Buenos Aires. El edificio que lo contendrá comprende una superficie de 18.500 m^2, de los cuales alrededor de 14.000 m^2 corresponden al llamado “módulo nuclear”, el sector que incluye la contención del reactor, la sala de control y todos los sistemas de seguridad y de operación de la central.

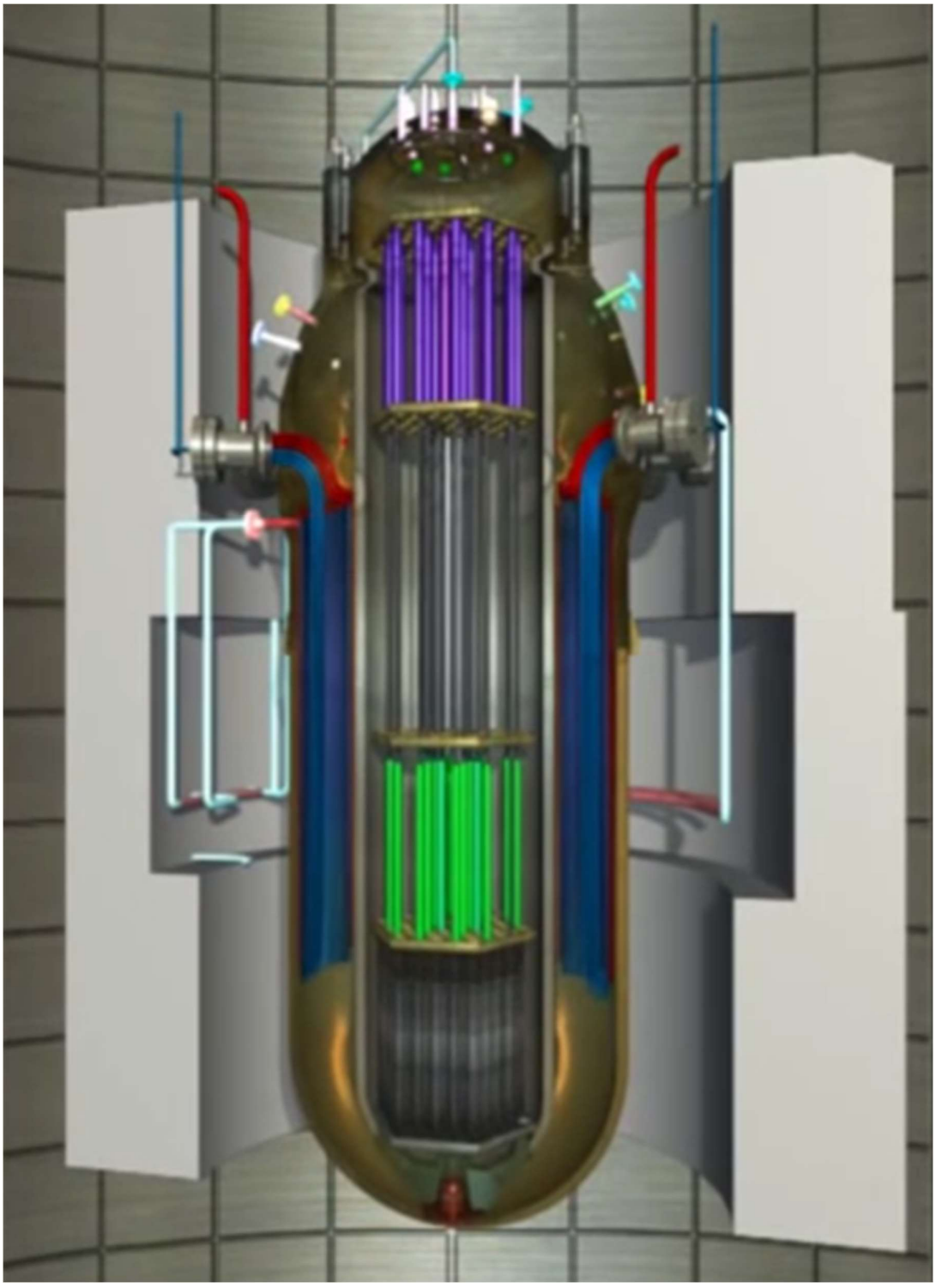


Diagrama de Ingeniería del reactor CAREM

Con la reprogramación de trabajos se estima que el avance físico está por encima del 70% mientras que el avance financiero está en el 80%. La fecha de puesta en marcha del prototipo está prevista para 2027.

Imagen de la obra del CAREM

Adicionalmente, en el período 2024-2033 se debería definir el diseño y construcción de un CAREM a escala comercial.

El CAREM, como concepto de reactor evolutivo con sistemas de seguridad pasivos y circulación del primario por convección natural, podría ser escalado hasta los 120-150 MWe.

Este tipo de reactores más pequeños son por un lado más acordes con la capacidad industrial de nuestro país, y por otro permitirían superar la principal barrera que tiene la energía nuclear a nivel mundial, que es su costo.

Las configuraciones de centrales CAREM que se evalúan pueden ser módulos simples, dobles o cuádruples, con una o dos turbinas que permitan reducir costos de infraestructura asociados al reactor.

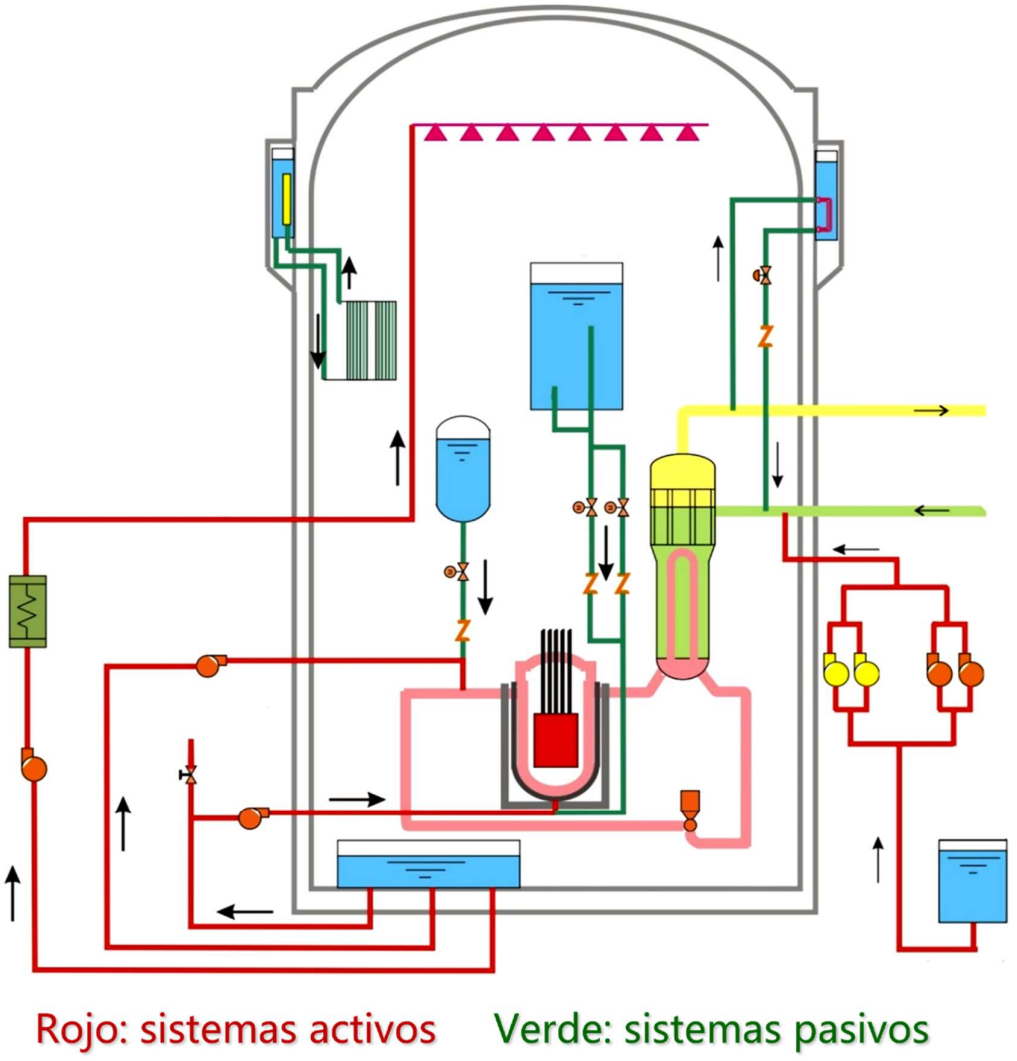
4.1.2. PROYECTO ATUCHA III

El proyecto Atucha III contempla la compra llave en mano de un reactor nuclear tipo Hualong (HPR-1000), de uranio levemente enriquecido y agua liviana, desarrollado como reactor estándar de la República Popular de China.

El reactor tipo Hualong tiene una potencia bruta de 1150 MW (1000 MWe Netos), y se espera que entregue más de 7.500 GWh de energía al año, incrementando en un 60%

la capacidad nuclear instalada del país. Este proyecto se espera que se desarrolle a partir del año 2024, entrando en operación en el 2030.

China ha desarrollado el diseño HPR-1000 basado en la experiencia completa de años de desarrollo de ingeniería, construcción y operación de centrales nucleares. El HPR-1000 ha combinado los requisitos y estándares seguridad avanzados, como los *Safety Standards* del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA), los *European Utility Requirements* (EUR) y otros códigos y normas internacionales. Una ventaja importante del HPR-1000 es que toma la experiencia de los aprendizajes de unidades similares en todo el mundo y se integran al diseño de esta, incluyendo lecciones aprendidas del accidente nuclear japonés de Fukushima.



Esquema de sistemas funcionales de la central tipo Hualong

El HPR-1000 utiliza tecnología probada similar a la mayoría de otras centrales nucleares PWR (Reactores de Agua liviana Presurizada) actualmente en funcionamiento con éxito en todo el mundo. El HPR-1000 está diseñado para ser más robusto y resistente que otros PWR, con tres sistemas de seguridad separados físicamente (3x100%), lo que baja en un orden de magnitud la posibilidad de un accidente, y permite una potente combinación de sistemas de seguridad activos y pasivos. La seguridad, la fiabilidad y la eficiencia económica de la planta se han mejorado sistemáticamente.

El reactor está diseñado para que tenga una vida útil de 60 años, con un ciclo de recambio de combustible cada 18 meses. Esto asegura una disponibilidad mayor al 90% en su operación. El reactor contiene un núcleo de 177 elementos combustibles que, una vez entrado en régimen, poseen un quemado promedio mayor a 45 GWd/tU. El recipiente de presión es el equipo más grande y tiene una longitud superior a los 12 m, un diámetro interno de 4,34 m y un espesor de 22 cm.

Como para prácticamente todas las centrales nucleares que se construyen en la actualidad, se adoptan métodos para la reducción de tiempos constructivos y manejo del proyecto como ser la modularización de componentes. El plazo de construcción está estimado en 6 años. Durante la construcción se estima un pico de trabajadores de 5.500 y durante la operación (estimada en 60 años) alrededor de 900 trabajadores.

El sitio Atucha, con Atucha 2 y Atucha 1.

4.1.3. CENTRAL CANDU

Dado el excelente resultado que ha tenido la central nuclear Embalse, dado que Argentina es poseedora de la ingeniería de dicha central por los acuerdos firmados con Canadá en la década del 70 y dado que durante el proyecto de extensión de vida de Embalse se desarrollan importantes avances en la fabricación de los componentes principales para el reactor, es natural que Argentina plantee la posibilidad de aprovechar esta situación para encarar la construcción local de una o más centrales CANDU.

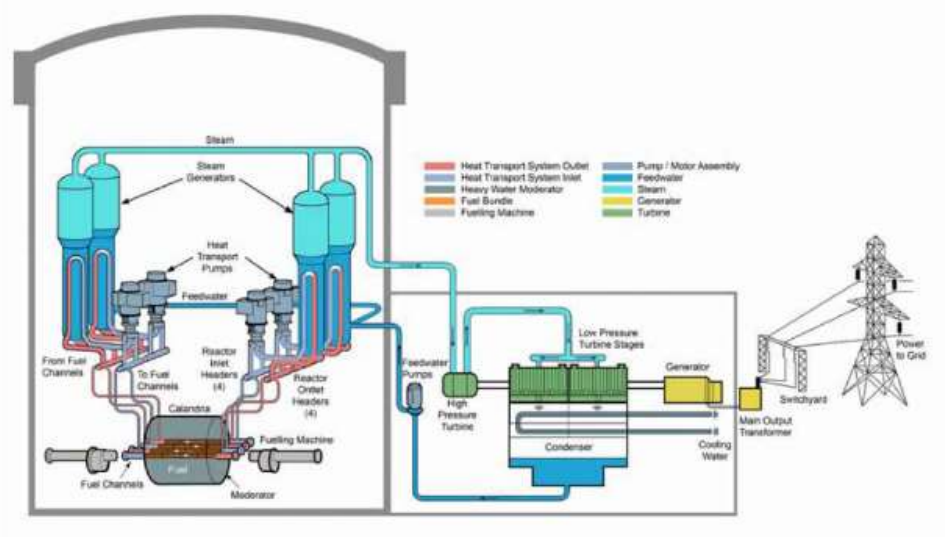


Diagrama de un reactor CANDU

En 2015 se firmaron acuerdos con China para que asistiera a nuestro país tecnológica y financieramente en la construcción de una nueva central CANDU. Este acuerdo fue revocado por Argentina en 2017.

El Plan Estratégico de NA-SA aprobado por el Poder Ejecutivo Nacional en junio de 2021 prevé retomar las acciones necesarias para desarrollar la tecnología necesaria para poder construir una central nuclear tipo CANDU en Argentina. Esta será la quinta central nuclear, dado que se espera que entre en funcionamiento después de Atucha III.

Planta de un reactor CANDU

4.1.4. PROYECTO DE EXTENSIÓN DE VIDA DE LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I

El Proyecto de Extensión de Vida (PEV) de la CNA-I es un proyecto que viene ejecutándose desde hace tiempo, habiéndose realizado mejoras y actualizaciones de la planta de manera continua. En el marco del proyecto ya se realizó el reemplazo y actualización de los componentes del sistema de emergencia (motores diésel) cumplimentando la nueva normativa post-Fukushima. Otro de los grandes subproyectos que abarca el PEV es el proyecto de almacenamiento en seco de elementos combustibles quemados (ASECQ-AI), que tiene por objetivo liberar espacio de las piletas de almacenamiento, ya que es un limitante para la vida útil de las plantas y para combustibles gastados con más de 10 años de almacenaje ya es posible su disposición segura en silos de hormigón. Dicho proyecto ya ha sido concluido. Estos trabajos han permitido extender la operación de la CN Atucha I hasta al menos 2024.

En un plazo breve (probablemente durante 2024), la central deberá salir de operación por un lapso de un año para hacerle las actualizaciones necesarias, lo que permitirá la operación de la central por 20 años más.

4.2. Proyecto reactor de investigación multipropósito RA-10

El proyecto RA-10 se ubica en el Centro Atómico Ezeiza (Provincia de Buenos Aires) e incluye el diseño, construcción, montaje y operación de un reactor nuclear multipropósito, con un aporte de más del 80% de empresas e instituciones locales en tecnología y servicios asociados.

El reactor RA-10 asegurará el autoabastecimiento de radioisótopos de uso médico, contando con capacidad para atender buena parte de la demanda de América Latina; consolidará las capacidades para desarrollos tecnológicos de punta en la industria nuclear y convencional; y abrirá un nuevo horizonte de investigaciones en ciencias básicas y aplicaciones basadas en el uso de técnicas neutrónicas avanzadas.

La instalación será multipropósito, es decir un solo reactor con flexibilidad para desarrollar varias actividades, contando con producción de radioisótopos, materiales y combustibles, además de haces de neutrones para realización de investigación y desarrollo, y producción de silicio dopado.

El RA-10 es desarrollado íntegramente en Argentina bajo la conducción de CNEA y con el aporte de ingenierías y suministros por parte de INVAP. De esta manera en la construcción de esta nueva instalación se integran y desarrollan capacidades nacionales en distintas áreas específicas de la pequeña y mediana industria.

La obra presenta actualmente un avance superior al 80%, estimándose el comienzo de su puesta en marcha para fines de 2024.

Imagen de ingeniería del reactor RA-10

Imagen de obra del Reactor RA-10

4.3. Enriquecimiento de uranio

El enriquecimiento de uranio es una actividad fuertemente influida por el contexto geopolítico, pero también es una de las fases esenciales para la sostenibilidad de un programa nuclear completo.

El enriquecimiento de uranio implica tener el desarrollo autónomo de todo el ciclo de combustible y el soporte de las exportaciones nucleares que podemos hacer como país, tanto de reactores CAREM como de reactores de investigación. Esto le da seguridad al comprador de que Argentina es un proveedor confiable de suministros nucleares y que garantiza todo el ciclo de combustible, pudiendo asegurar la provisión de los combustibles sin depender de que otro país nos provea uranio enriquecido.

Por ello, la decisión actual es manejar las tres tecnologías necesarias para enriquecer uranio a escala de laboratorio (difusión gaseosa, centrífugas y laser) pero no llevarlas en el corto plazo a una escala industrial. Mantener el dominio de la tecnología para pasar a una escala industrial es una decisión política y solo puede pensarse en un marco de expansión de la actividad nuclear a nivel local.

4.4. Nueva planta de dióxido de uranio en Formosa (Dioxitek)

Otro de las obras que está en construcción es la Nueva Planta de Uranio (NPU) de Dioxitek en la provincia de Formosa. El avance actual se encuentra en un 70% aproximadamente.

Maqueta digital de la NPU

Las principales demoras en la construcción se deben a falta de presupuesto.

Obra de Dioxitec en Formosa

4.5. Plan nacional de medicina nuclear

Con algunas demoras y retrasos, se mantienen los lineamientos básicos presentados en el plan de obras 2019-2029. El objetivo final es la consolidación de una red federal de Centros de Medicina Nuclear (CMN). Las inversiones del plan consisten en la remodelación y actualización de centros médicos ya existentes y la construcción de CMN distribuidos en todo el país. Estos CMN, nuevos y/o remodelados cuentan o contarán con instalaciones y equipamiento de alta tecnología, entre los que se encuentran ciclotrones para la fabricación de radioisótopos, laboratorios para la producción de radiofármacos y el equipamiento necesario para el diagnóstico y tratamiento.

Durante el período 2019-2023 se pudo continuar con las actividades haciéndose inversiones en los centros de Bariloche, Río Gallegos, Comodoro Rivadavia, Pergamino y Formosa. Hubo también un avance importante en el centro de protonterapia de la Ciudad de Buenos Aires.

Para el período en consideración, se prevén inversiones en los centros ya existentes de Río Gallegos y Bariloche, y la terminación de nuevos centros en La Plata y Santa Rosa.

También se prevé la finalización del centro de protonterapia. Por la innovación que este proyecto significa y por la misma envergadura de la inversión, se describe con más detalle a continuación.

4.5.1. *CENTRO DE PROTONTERAPIA*

En la ciudad de Buenos Aires avanza la construcción del Centro Argentino de Protonterapia (CEARP), que estará dedicado a la investigación y el tratamiento de tumores de difícil acceso y/o pediátricos con terapia de protones. Se trata de un proyecto de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) e involucra a INVAP, la Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA) y el Hospital de Pediatría Juan P. Garrahan.

El Centro Argentino se ubica en un predio lindero al Instituto de Oncología Ángel Roffo (UBA), tiene una superficie de 7.858 m^2 y cuenta con cinco plantas que albergan un área de radioterapia convencional (ya operativa), una de protonterapia y otra destinada a la investigación.

Sala de tratamiento

Bunker de Protonterapia en obra

La nueva terapia para usar la radiación con protones se considera una técnica más segura y efectiva y hasta ahora es una práctica utilizada solo en noventa centros especializados en todo el mundo, que operan principalmente en los Estados Unidos, Europa y Asia. El Centro Argentino de Protonterapia será el primero en Argentina y en toda América Latina.

A diferencia de los fotones, los protones causan un daño menor al tejido sano circundante al entrar en el organismo, y descargan la mayor parte de su energía de manera concentrada donde se encuentra el tumor. Una vez depositada esta energía en donde está ubicado el tumor, no se produce un daño adicional al tejido sano que se encuentra detrás de este ya que no hay una dosis de salida. Gracias a esto, el tejido sano resulta menos expuesto a la radiación, y las complicaciones del tratamiento son menores.

La evidencia científica actual sugiere el uso de protones en un número creciente de casos con beneficios en comparación con otras técnicas de radioterapia, especialmente en el tratamiento de cánceres pediátricos, cáncer avanzado de cabeza y cuello, tumores oculares, carcinoma hepatocelular, y tumores de la columna vertebral.

Según las estimaciones de las partes involucradas en el proyecto, en solo un año habrá alrededor de trescientos pacientes pediátricos con tumores del sistema nervioso central que se beneficiarán de la nueva terapia, además de unos 1.300 adultos. Siendo el único centro a nivel subcontinental, se estima, además, que más de siete mil pacientes podrían ser provenientes de países vecinos y más de doce mil de toda América Latina.

5. NECESIDAD DE UN PLAN ENERGÉTICO A LARGO PLAZO

Si bien esta propuesta está acotada temporalmente a la década de 2024 a 2033, creemos que es fundamental contemplar un horizonte mayor para evaluar la sostenibilidad del sector nuclear.

Consideramos también que si bien la inversión en el sector nuclear está dominada por la inversión en nucleoelectricidad, el desarrollo nuclear es más amplio que la incorporación de la centrales nucleares a la generación eléctrica, ya que es una herramienta para el desarrollo tecnológico e industrial del país. Al mismo tiempo, sabemos que debe hacerse de manera transparente, clara y participativa, y no a cualquier costo.

A continuación, presentamos las razones que llevan a pensar sobre la necesidad de un plan de largo plazo para desarrollar el sector nuclear en su conjunto.

A nivel mundial existe una fuerte presión para descarbonizar las matrices energéticas, es decir dejar de usar combustibles fósiles, que significan más del 80% del uso primario de energía, tanto en el mundo como en Argentina. El Acuerdo de París, celebrado en el año 2015, establece para el año 2050 sistemas energéticos neutros en carbono, donde las emisiones deben compensarse con sumideros de CO_2.

A medida que el mundo busca reducciones más profundas en las emisiones de carbono del sector eléctrico, el costo incremental (respaldo firme, líneas de transporte, integración al sistema) de la energía proveniente de las energías renovables aumenta dramáticamente. Los niveles de descarbonización que se han fijado como objetivos en las deliberaciones de política internacional, requieren incluir la generación nuclear en la combinación de opciones para ayudar a que alcanzar estos estrictos objetivos de emisiones sea más realista.

Los objetivos de descarbonización también implican reemplazar varios usos energéticos por su equivalente eléctrico (como ser autos eléctricos, o calefacción residencial eléctrica), lo que lleva a un aumento del uso de la electricidad en la matriz energética. Es decir, al mismo tiempo que se manifestará un crecimiento importante en la demanda de electricidad (por reemplazo de consumos energéticos varios por consumos eléctricos), se deberá descarbonizar la generación de electricidad. Para este desafío, creemos que todos los recursos energéticos bajos en carbono son necesarios ya que actúan de manera complementaria.

Algunos cálculos aproximados para obtener la magnitud del reemplazo por electricidad de consumos energéticos actualmente no eléctricos se pueden realizar tomando como objetivo la eliminación de gas natural en edificios (residenciales, comerciales y públicos) o todos los combustibles usados en transporte (en un hipotético escenario donde todo el transporte se electrifica).

Estos cambios en la demanda final son de largo plazo y es muy difícil que ocurran todos juntos, ya que, si bien la electrificación es uno de las principales estrategias en la transformación energética, otras alternativas que pueden contribuir son el hidrógeno como vector energético, otros combustibles alternativos, un incremento en la eficiencia energética y la gestión de demanda en todas las formas de uso.

Para tener un orden de magnitud, en uno de esos escenarios el uso energético final se reduce en un 35%, mientras que el uso de la energía eléctrica aumenta un 66% más que en el caso de mantenerse las tendencias actuales, llegando a 430 TWh de demanda eléctrica para el año 2050.

Este proceso, sin duda complejo y de largo aliento no se contrapone con el necesario desarrollo petrolero/gasífero de Vaca Muerta, sino que más bien, complementa y trasciende al mismo.

La nucleoelectricidad posee características que se complementan con el resto de las ofertas tecnológicas bajas en emisiones, como hidroelectricidad, y energías eólica y solar. Su generación de base permite, trabajando en conjunto con la hidroeléctrica, tener un sistema más estable, dada las condiciones variables del resto de la generación.

Las centrales nucleares son también mucho más flexibles en cuanto a su ubicación geográfica: el sol, el viento y el agua están donde están, y en Argentina están lejos de la concentración de la demanda, mientras que es posible ubicar las centrales nucleares cerca de la demanda, disminuyendo así los costos de transporte y aumentando la confiabilidad de la red.

Al mismo tiempo, dado el bajo costo del combustible nuclear, las centrales nucleares estabilizan los costos de generación, ya que una vez invertido el capital inicial, la generación nuclear es de bajo coste, por lo que disminuyen los picos de precios que ocurren en sistemas respaldados en energía térmica.

La energía nuclear proporciona otros beneficios: reduce otros tipos de contaminación del aire asociados con la producción de electricidad (como por ejemplo emisiones de material particulado), contribuye a la diversificación de las fuentes de combustible y a la estabilidad de la red, tiene bajos requisitos de terreno y crea empleos bien remunerados.

En términos de recursos materiales usados, la energía nuclear también se destaca por los pocos materiales que utiliza en función de la energía generada en todo su ciclo de vida.

Sin embargo, el principal atributo de la energía nuclear que justifica su crecimiento a escala global y en Argentina es su naturaleza baja en emisiones de carbono.

Por otra parte, la energía nuclear, al contrario de lo que la percepción pública le atribuye, es una de las energías más seguras que existen en el mundo. Si bien reconocemos que existe un largo camino para generar una aceptación social de la nucleoelectricidad, esto

debe realizarse buscando los consensos necesarios y modos de implementación que permitan el desarrollo que visualizamos.

Además de la percepción pública, la energía nuclear tiene un problema mayor, que es el elevado costo en relación con otras tecnologías de generación. El decrecimiento en los costos de capital de estas últimas contrasta notoriamente con el incremento en dichos costos de la energía nuclear. Los datos económicos respecto a la próxima central nuclear son elocuentes, siendo el costo de capital de 8.300 USD/kWe-instalado. Por ello los esfuerzos de reducción de costos deben centrarse no solo en el diseño de la central o en la tecnología específica del reactor, sino también en mejoras en la forma en que se construye la planta en general y formas de acelerar el proceso de construcción, para reducir los costos e intereses durante este período. La construcción de centrales nucleares idénticas ("flota") ha demostrado ser una estrategia válida para reducir los costos de capital de las centrales nucleares: existen experiencias exitosas en el mundo que Argentina debiera replicar para transformar el actual modelo de construcción intermitente (una central cada 10 años) a un programa nuclear sostenido en el tiempo. Esto permitiría la repetición de un mismo modelo de centrales que llevaría a una baja en los costos de capital, por economías de aprendizaje, por menores tiempos de construcción y por la amortización en un número mayor de unidades de los costos no recurrentes como la ingeniería y los desarrollos tecnológicos.

Sumada al uso de buenas prácticas constructivas, la modularización, cuando se usa juiciosamente en la construcción de plantas nucleares y en la fabricación de componentes, podría ser una estrategia viable de reducción de costos. La modularización podría alcanzar también a las obras civiles mediante el empleo de estructuras que estén diseñadas para ser fabricadas y ensambladas fuera del sitio. Pensamos que el desarrollo del CAREM comercial, un reactor diseñado para ser realizado en forma modular y estandarizado debiera contemplar estas estrategias para una implementación exitosa.

Un programa nuclear autónomo también requiere de un compromiso en el desarrollo de los sectores de recursos humanos y científico-tecnológico de avanzada, llevando a un aumento en el grado de complejidad del sistema productivo nacional. Esta es una de las características más importantes del desarrollo nuclear, poniendo como ejemplo la evolución de INVAP, de ser una empresa creada para desarrollar proyectos nucleares a todo su impresionante desarrollo actual en el sector aeroespacial, en el sector de radares y en otras áreas tecnológicas.

Entre las estrategias probadas para un exitoso plan nuclear de largo plazo se encuentran las siguientes:

- Planificar y construir una flota de centrales nucleares idénticas.
- Finalizar el diseño de estas centrales antes del inicio de la construcción de la primera.

- Desarrollar una cadena de suministro confiable, probada y crecientemente localizada para componentes del sistema de suministro de vapor nuclear (NSSS Nuclear Steam Supply System).
- Fomentar el desarrollo de una fuerza laboral calificada.
- Incluir a los fabricantes y constructores locales en el equipo de diseño inicial, para asegurar que los componentes se puedan fabricar y que las estructuras se puedan construir según los estándares relevantes.
- Nombrar un solo gerenciador del contrato principal que tenga experiencia probada en la gestión de múltiples subcontratistas independientes.
- Establecer de una estructura de contratación en la que todos los contratistas (y subcontratistas) tengan un interés especial en el éxito del proyecto.
- Adoptar procesos administrativos contractuales que permitan ajustes rápidos y no litigiosos a cambios no anticipados en los requisitos.
- Desarrollar el proyecto en un entorno regulatorio flexible que puede acomodar cambios pequeños e imprevistos en el diseño y la construcción de manera oportuna.

Los desafíos que enfrentan los sistemas energéticos a futuro son enormes. Por historia y capacidades generadas, Argentina puede utilizar a la energía nuclear para transformar parte de su matriz energética, y aportar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por las Naciones Unidas.

Para que todo esto sea posible, se debe contar con un programa nuclear de largo plazo, sostenido y donde su principal capital sea la acumulación de capacidades tecnológica-industriales y de generación de trabajo de calidad.

Para contar con un plan nuclear de largo plazo y, especialmente, para poder optimizar la transición energética hacia el uso de combustibles no fósiles y teniendo en cuenta aprovechar al máximo posible los recursos energéticos existentes en Vaca Muerta, es imprescindible hacer una planificación energética que abarque al menos las próximas tres décadas. Sin esta planificación, el sector nuclear, el sector gasífero petrolero, el sector de renovables, el sector automotor, en síntesis, todos los sectores afectados por la transición energética tendrán que navegar el futuro cercano sin la información adecuada.

En ese sentido es muy auspiciosa la publicación por la Secretaría de Energía del informe “Lineamientos y Escenarios para la Transición Energética a 2050”. Este informe es preliminar y requiere procesar y completar tanto las hipótesis como las propuestas, pero es un paso adelante muy importante. El mismo informe prevé su revisión en el próximo año y medio, debiendo presentarse una nueva versión a fin de 2024. Es fundamental que esta tarea se realice dentro del plazo previsto y que en este informe revisado se refinen las hipótesis, los datos y las propuestas.

Debe destacarse que el informe mencionado prevé la instalación de casi 6000 MWe de potencia nuclear nueva. Esta meta permite y exige realizar la planificación del sector

nuclear a mediano plazo. Es urgente que las agencias involucradas (principalmente CNEA y NA-SA, pero también los otros actores del sistema nuclear definidos más arriba) se reúnan para estudiar las acciones necesarias para poder cumplir con este objetivo e incluir estas acciones en la revisión del informe a producir para fin del 2024.

Sabemos también que esta planificación es fundamental para que, además de permitir que la energía nuclear se incluya en la matriz energética, se aproveche esta tecnología para generar un desarrollo productivo, tecnológico e industrial de calidad en nuestro país, que trascienda las aplicaciones de generación de electricidad y tenga otras importantes aplicaciones como son preservar, como lo ha hecho siempre el sector nuclear, lo más valorado por las personas: su salud y bienestar.

CAMARCO
Cámara Argentina de la Construcción

Inversiones previstas 2024-2033

PROYECTO NUCLEOELECTRICIDAD	COSTO TOTAL MILLONES USD	COSTO TOTAL MILLONES PESOS	UBICACION
Central Atucha III	8300,0	1733870,0	Lima, Pcia BsAs.
Quinta Central Nuclear	5800,0	1211620,0	Lima, Pcia BsAs.
Extensión de vida de Atucha 1	450,0	94005,0	Lima, Pcia BsAs.
Almacenamiento combustibles de Atucha 2	150,0	31335,0	Lima, Pcia BsAs.
Central nucleoeléctrica CAREM	300,0	62670,0	Lima, Pcia BsAs.
OTROS PROYECTOS			
Reactor de Investigación RA-10	70,0	14623,0	Ezeiza, Pcia BsAs.
Planta de Dioxitec	84,0	17547,6	Formosa, Pcia Formosa
Enriquecimiento de uranio	140,0	29246,0	Varios lugares
Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP)	50,0	10445,0	Arroyito, Pcia Neuquén
Planta de Producción de Radioisótopos (PPR)	80,0	16712,0	Ezeiza, Pcia BsAs.
Planta Industrial de ElementosCombustible (PIECRI)	30,0	6267,0	Ezeiza, Pcia BsAs.
MEDICINA NUCLEAR			
Centro Radio Oncológico del Centro del País	2,0	417,8	Santa Rosa, La Pampa
Centro de Medicina Nuclear y Radioterapia de la Patagonia Austral	1,0	208,9	Río Gallegos, Pcia Santa Cruz
Intecnus	2,0	417,8	Bariloche, Pcia Rio Negro
CEARP (Protonterapia)	3,5	731,2	CABA
Centro Oncológico de Excelencia	42,5	8878,3	La Plata, Pcia BsAs
Hospital Garraham	34,5	7207,1	CABA

Centro Oncológico Salta	36,5	7624,9	Salta, Pcia Salta
Hospital Centenario	4,0	835,6	Rosario, Pcia de Santa Fé
Centrales nucleares (AIII, CN5, CAREM)	14400,0	3008160,0	
Resto de proyectos	1180,0	246502,0	
Inversión total	**15580,0**	**3254662,0**	