

REVISTA DE LA CNEA

UNA PUBLICACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Año XVIII - Número 69-70 Julio/Diciembre 2018

REACTOR MULTIPROPÓSITO ARGENTINO RA-10
INSTALACIÓN DE LA PILETA PRINCIPAL



Guía para autores de artículos

Línea Editorial: Los artículos podrán ser originales o haber sido presentados en eventos científicos o en revistas ajenas al área nuclear que permitan su publicación con la sola mención de esa circunstancia, y estar dirigidos a la comprensión de un lector con formación científica o tecnológica, pero no necesariamente en el área temática del mismo.

Envío: Deberán enviarse por correo electrónico a la dirección revista@cnea.gov.ar.

Formato: Serán preparados en Word for Window® y la página será tamaño especial 196 mm. X 275 mm. Los márgenes serán: izquierdo y derecho 1,5 cm., superior 1,9 cm. e inferior 2 cm. El tipo de letra será Arial de 10 pt. No deberán sobrepasar las doce páginas.

Título: Constará de no más de diez palabras, debiendo dar indicación concisa del contenido y ser fácilmente identificable para su cita en bibliografías y publicaciones editadas por servicios de información. Podrá ser seguido por un subtítulo separado por dos puntos que contenga información complementaria. Se evitarán las abreviaturas, acrónimos, códigos, símbolos y fórmulas que no sean de uso común.

Datos del (los) autores:

Deben constar los apellidos y nombre(s) propio(s), usándose iniciales sólo en el caso de más de un nombre. Se indicará(n) además la(s) función(es) y/o puesto(s) de trabajo y el(los) organismo(s) a que pertenece(n).

Resúmenes de los artículos:

Cada artículo será precedido por un resumen del contenido, redactado en castellano e inglés, que sea autosuficiente, contenga la información básica y no supere las trescientas palabras, estructurado en no más de dos o tres párrafos. Se utilizarán verbos en voz activa y palabras significativas tomadas del texto que ayuden a la recuperación automática por ordenador. Conviene evitar términos infrecuentes, acrónimos, siglas, abreviaturas o símbolos, y en caso de que se utilicen deben definirse la primera vez que aparezcan en el resumen.

Texto Principal: Los artículos deben seguir un orden lógico y claro, debiéndose indicar la finalidad del trabajo, así como su relación con otros anteriores. Las divisiones y subdivisiones se podrán destacar con títulos apropiados que podrán numerarse. Se utilizarán notaciones normalizadas para cada disciplina, como las establecidas por las normas IRAM u otros organismos de normalización. Las notas a pie de página sólo se incluirán para complementar la información o remitir a las referencias bibliográficas, pero no deben contenerlas.

Las figuras (fotografías, gráficos, diagramas, ilustraciones y mapas) deben numerarse secuencialmente en números arábigos y estar acompañadas por una leyenda explicativa. Las tablas también deben numerarse y tener títulos apropiados. Tanto las figuras como las tablas deben referenciarse en el texto. Su envío se hará en lo posible en formato jpg o bmp.

Los aportes suministrados por otros deben ser claramente reconocidos. Los documentos citados en el texto principal se incluirán en una lista de referencias al final del artículo.

Referato: Serán considerados para su publicación por miembros del Comité Científico y/o se consultará con especialistas del área temática correspondiente sobre su relevancia y originalidad.

Derechos de autor: Los trabajos publicados sólo podrán copiarse con el consentimiento del autor e indicación de su procedencia.

Erratas: Las correcciones y/o comentarios a que dieran lugar se publicarán en la edición posterior en la sección "Aclaraciones y comentarios".

LA REVISTA DE LA
**COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA ATÓMICA**



AÑO XVIII – NÚMERO 69/70 – ENERO/JUNIO 2018

editorial

El Comité Editorial se complace en presentar el número 69/70 de la Revista de la CNEA con el que inicia su décimo octavo año de existencia. Este número presenta dos trabajos enmarcados en el área de planificación energética, con especial énfasis en la nucleoelectricidad. También se incluye un trabajo que responde al propósito puesto de manifiesto desde el comienzo de la publicación de la Revista: dejar registro documental de la historia del inicio y desarrollo de las distintas actividades de la Institución, relatados por los que fueron partícipes en las mismas.

El primer artículo repasa la historia de la matriz eléctrica argentina desde sus inicios hasta la actualidad y, también, hace hincapié en los proyectos futuros.

La construcción de centrales nucleares ha progresado constantemente desde el año 2000 hasta la actualidad, con 98 nuevos reactores iniciados y 77 reactores completos conectados a la red en dicho periodo, que se ha caracterizado por grandes cambios tecnológicos, estructurales y geográficos. El segundo artículo ofrece un panorama general del estado de las nuevas centrales nucleares en construcción, las tendencias en curso y los posibles caminos a seguir.

El 6 julio de 1968 se puso en marcha la Planta Experimental de Reprocesamiento PR1 de la CNEA. Este evento tuvo un significado especial en la historia de la Institución, pues esa Planta permitió por primera vez cerrar experimentalmente el ciclo de combustible nuclear. El tercer artículo nos brinda un relato ameno de las circunstancias, objetivos y medios relacionados con ese emprendimiento, redactado por dos investigadores que fueron partícipes en el mismo.

Como es habitual se incluye la sección “CNEA al Día” con las noticias institucionales más destacadas del semestre y, además, la sección “Aclaraciones y comentarios” con una aclaración relacionada con una noticia institucional publicada en el número anterior.

Una vez más se invita a los integrantes del sector nuclear, con prescindencia del organismo al que pertenezcan o hayan pertenecido, y a quienes estén o hayan estado vinculados a la actividad nuclear bajo cualquier circunstancia, que tengan trabajos que deseen difundir, a que los hagan llegar a este Comité Editorial.



Foto de tapa
Instalación de
la piletta del nuevo
reactor de investigación
multipropósito RA-10

autoridades nacionales

Presidente de la Nación
Ingeniero Mauricio Macri

Secretario de Energía
Ingeniero Javier Alfredo Iguacel

Subsecretario de Energía Nuclear
Licenciado Julián Gadano

autoridades institucionales

Presidente
Licenciado Osvaldo Calzetta Larrieu

Vice-Presidente
Licenciado Alberto Lamagna

Gerente General
Ingeniero Enrique Cinat

comité asesor

Doctor Carlos Aráoz
Doctor Juan Martín Maldacena

comité editorial

Ingeniero Pascual Francisco Aguirre
Investigador Consulto Roberto Mario Ornstein

Diseño de tapa División Diseños de Contenidos
Departamento de Prensa – Gerencia de
Comunicación Social
Traductora Malena Marino
Impresión: VCRE Gráfica S.A.
SIN: 1666-1036

sumario

Editorial	3
Autoridades y sumario	4
Evolución de la matriz eléctrica argentina	5
Análisis de los reactores nucleares de potencia en el mundo	25
A 50 años de la puesta en marcha de la Planta Experimental de Reprocesamiento PR1	41
CNEA al Día, noticias institucionales	48
Aclaraciones y comentarios	50

Nota: En la página web de la CNEA (www.cnea.gob.ar), en la sección “Mediateca”, se puede acceder al índice general temático de los artículos publicados en la totalidad de los números de la Revista de la CNEA.

Evolución de la matriz eléctrica argentina

JENSEN S., ZAMORA A. y RIMANCUS P. – Gerencia Planificación, Coordinación y Control – Comisión Nacional de Energía Atómica

El presente artículo repasa la historia de la matriz eléctrica argentina desde sus inicios hasta la actualidad y, también, hace hincapié en los proyectos futuros.

Evolution of the Argentine Electrical Grid

This paper reviews the history of the Argentine Electrical Grid from its beginnings to the present day, and it emphasizes future projects.

Introducción

Las experiencias en laboratorios para obtener luz a través de la energía eléctrica habían comenzaron a principios del siglo XIX. En París, en el año 1843, se realizaron los primeros ensayos, de corta duración debido a que los filamentos de las lámparas incandescentes se fundían. Esto fue resuelto por Edison introduciendo un trozo de hilo de algodón carbonizado en una bombilla de vidrio en la que había logrado vacío en su interior. Fue así como el 21 de octubre de 1879

probó la lámpara que había creado y logró que permaneciera encendida durante 40 horas.

En Argentina el primer uso masivo de la electricidad tuvo lugar en la ciudad de La Plata en el año 1886, momento en el que se instaló la primera usina que alimentaba 200 focos. La Plata se convirtió así en la primera ciudad de Sudamérica con alumbrado eléctrico y con la primera central eléctrica del país.



Figura 1: Plaza San Martín, ciudad de La Plata, iluminada con electricidad

Posteriormente, en el año 1887, la ciudad de Buenos Aires instaló su primera usina que suministraba electricidad principalmente a la zona de la Avenida de Mayo.

En el año 1897 se dieron dos sucesos importantes en materia de generación eléctrica. En la provincia de

Córdoba se puso en funcionamiento la primera central hidráulica del país, llamada Casa Bamba. La misma contaba en sus inicios con 1,2 MW de potencia y en el año 1911 se amplió su capacidad a 2,3 MW. Este fue, además, el primer aprovechamiento hidroeléctrico en Sudamérica. El segundo acontecimiento importante de ese año fue la

construcción del primer servicio de tranvías del país, con un recorrido de poco más de cinco cuadras sobre la avenida porteña Las Heras. Se calculaba que para el año

1899 el 88% del transporte tranviario era impulsado a sangre, cifra que se revirtió diez años después cuando el sistema de tracción pasó a ser un 95% eléctrico.



Figura 2: Usina Casa Bamba en la provincia de Córdoba

En el año 1907 el Intendente Municipal de Buenos Aires otorgó la concesión para la producción, distribución y venta del servicio eléctrico y de iluminación a la empresa CATE (Compañía Alemana Transatlántica de Electricidad). La monopolización de una empresa eléctrica conllevó la homogeneización del sistema eléctrico, permitiendo unificar las tensiones y frecuencias a los valores utilizados actualmente, según las normas eléctricas europeas. En los años posteriores fueron surgiendo otras compañías de electricidad en distintos puntos del país.

Por su parte, la creación y masividad del motor eléctrico tuvo un fuerte impacto en las industrias, mayormente metalúrgicas, de madera, papel y curtiembres, que comenzaron a incorporarlos para modernizar sus talleres y mejorar sus procesos productivos. Esto fue acompañado con la adquisición de motores diésel, que permitieron a las fábricas tener sus propios generadores eléctricos. Con estos avances, el país dio los primeros pasos en la modernización de la infraestructura fabril. Para el año 1910 se estimaba que en la Argentina había alrededor de 6.800 motores eléctricos.

El incremento de la demanda eléctrica, influenciada por las luminarias y motores eléctricos, impulsó a que en el año 1910 se inaugurara la central térmica Dock Sud, de 35 MW, requiriendo para su operación 200.000 t anuales de carbón. Durante esa década, en el interior del país comenzaron a surgir emprendimientos de generación eléctrica en las provincias de Santa Fe, Córdoba, Tucumán y Mendoza.

El motor eléctrico no solo tuvo un uso industrial, ya que en el año 1914 se inauguró la línea “A” de subterráneos, con unidades impulsadas eléctricamente, que realizaba el recorrido desde la Plaza de Mayo hasta el actual barrio de Caballito, en la ciudad de Buenos Aires. Dos años más tarde comenzaba la electrificación del sistema ferroviario con las vías del Ferrocarril Central Argentino. El sistema de transporte eléctrico aumentó de una cantidad de unidades que representaba 15,3 MW en el año 1900 a 250 MW para 1920.

Para los comienzos de la década de 1920 empezaron a diseñarse nuevos dispositivos eléctricos, los cuales trajeron una mejora en el confort cotidiano como ascensores, planchas, heladeras, lavarropas y ventiladores, por dar algunos ejemplos. Si bien gran parte de estos artefactos eran utilizados por las clases más pudientes, de a poco fueron introduciéndose en la vida de la mayoría de las personas, y sus versiones mejoradas son utilizadas actualmente por un alto porcentaje de la población.

Entre estos artefactos cabe destacar la presencia de la heladera en los hogares argentinos con la histórica marca SIAM, nacida con capital nacional. Otro de los dispositivos que modificó la vida diaria fue la radio, produciéndose la primera transmisión en Argentina el 27 de agosto de 1920. La aparición del radioreceptor – en los años posteriores – modificó la manera de relacionarse dentro de cada hogar argentino. La posibilidad de escuchar todo tipo de programación llevó a la unión de toda la familia alrededor de la radio, volviéndola así un artefacto indispensable.

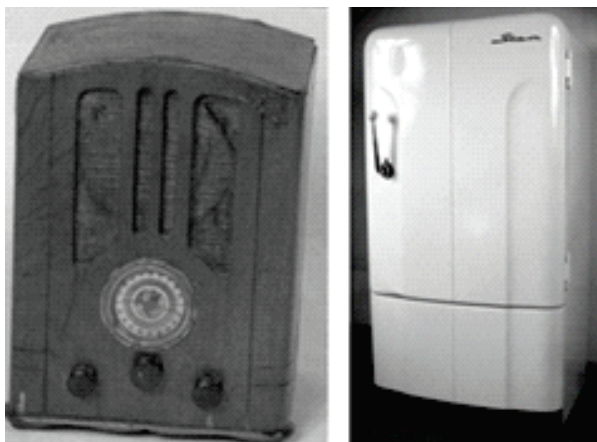


Figura 3: Radio a válvulas en 1935 (izquierda); heladera SIAM (derecha)

La crisis originada en Estados Unidos a comienzos de 1930 tuvo fuertes consecuencias en la realidad económica y social de la Argentina. Debido a que la matriz productiva estaba mayormente atada a las exportaciones de materias primas, la contracción de los mercados externos provocó una mayor repercusión de la crisis en nuestro país. Ante este evento se tomaron medidas proteccionistas para hacer posible la fabricación local de bienes manufacturados.

Con este nuevo modelo económico se favoreció al mercado interno y consiguio la expansión industrial. Esto produjo una masiva migración de la población hacia centros urbanos de mayor desarrollo como la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores, creciendo así su cinturón urbano. Estos cambios modificaron la organización de las ciudades, creándose nuevos barrios, que empezaron

a demandar electricidad, ya sea para alumbrado público como para el servicio residencial. A su vez se transformaron paulatinamente en consumidores de productos básicos y de aparatos de confort, lo que aumentó la producción industrial. Esto también fue posible gracias a la modernización de las fábricas y la posibilidad de contar con jornadas de trabajo nocturnas.

A comienzos de la década de 1930 la generación eléctrica alcanzaba los 1.400 GWh, una década después se posicionaba en valores de 2.500 GWh y, para el año 1945, este valor rondaba los 3.000 GWh. Como se evidencia en la Figura 4, el consumo eléctrico per cápita aumentó notablemente en estos años. Para mediados de la década del '40, la ciudad de Buenos Aires y la provincia de Buenos Aires consumían alrededor del 80% de la generación eléctrica total a nivel nacional.

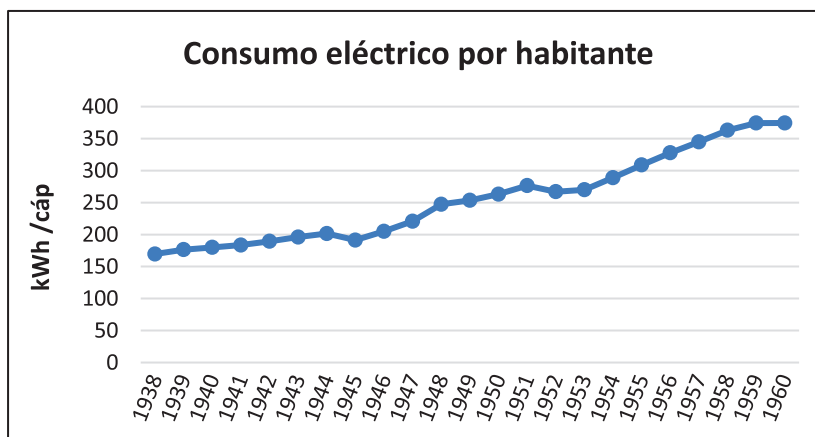


Figura 4: Evolución del consumo eléctrico por habitante a nivel país (1938-1960)

El primer gobierno de Juan D. Perón (1946-1952) estableció ciertas medidas políticas en el sector energético, como la creación de la Dirección General de Centrales del Estado, que tomó a su cargo el estudio, proyección, ejecución y operación de las centrales eléctricas, medios de transmisión y redes de distribución. Para el año 1947 el Estado tenía una pequeña participación en la producción total de energía eléctrica, por lo que decidió crear un nuevo organismo denominado Agua y Energía Eléctrica, cuyo objetivo era estudiar el recurso hídrico nacional y su aprovechamiento energético. En el año 1949, cuando se reformó la Constitución Nacional, se estableció a través del artículo 40 la nacionalización de los recursos minerales hidrocarburíferos y los aprovechamientos hídricos.

En línea con el plan político del gobierno se crea, en el año 1950, la Empresa Nacional de Energía, cuya finalidad era hallar fuentes de energía alternativas a la térmica, y articular programas de trabajo con las empresas del rubro.

A comienzos de la década de 1950 surgió otro artefacto que cambiaría el consumo eléctrico nacional y la manera de comunicarse: la televisión. La primera transmisión tuvo fecha el 17 de octubre de 1951, y en 1956 se fabricaron los primeros televisores de industria nacional, lo cual abarató costos y permitió incrementar su adquisición. Para comienzos de la década de 1960 había alrededor de 850.000 televisores en los hogares argentinos.

En el periodo comprendido entre 1953 y 1960 el país tuvo un desarrollo hidráulico con instalaciones de baja y mediana potencia (inferiores, por lo general, a los 100

MW), próximos a los centros de consumo (Ing. Cassaffousth, Los Molinos, La Viña y San Roque en Córdoba; Álvarez Condarco, El Nihuil 1 y 2 en Mendoza y Escaba en Tucumán).

Durante el transcurso de la Segunda Guerra Mundial se desarrolló la tecnología para el uso de la energía nuclear con fines bélicos. Pocos años después de terminada la contienda comenzó a usarse esta energía con fines pacíficos generando electricidad en centrales nucleares, siendo la primera en entrar en operación la central de Óbninsk, el 26 de junio de 1954, en la ex Unión Soviética, con una potencia de 5 MW. De forma paralela, en 1950 se creó en Argentina la Comisión Nacional de Energía Atómica y, el 20 de enero de 1958, empezó a operar el primer reactor de investigación RA-1 marcando un hito en Latinoamérica, dando comienzo al uso y desarrollo de la tecnología previo a la instalación de centrales nucleoelectricas en el país.

En el año 1957 entró en servicio la central de San Nicolás en la provincia de Buenos Aires, quemando carbón del yacimiento carbonífero de Río Turbio, ubicado en la provincia de Santa Cruz. Debido al bajo poder calorífico que posee, el carbón de origen nacional empleado en la generación eléctrica debía mezclarse con carbón importado. La ampliación del parque generador térmico implicó la instalación de equipos de mayor potencia, separados de las áreas urbanas. El combustible más utilizado era el "fuel oil", y el resto de la demanda se repartía en porciones equivalentes entre carbón y diesel.

Finalizando la década del '50 el país contaba con 2.287 MW de potencia instalada, duplicando la potencia instalada en el año 1935, como se puede observar en la Figura 5.

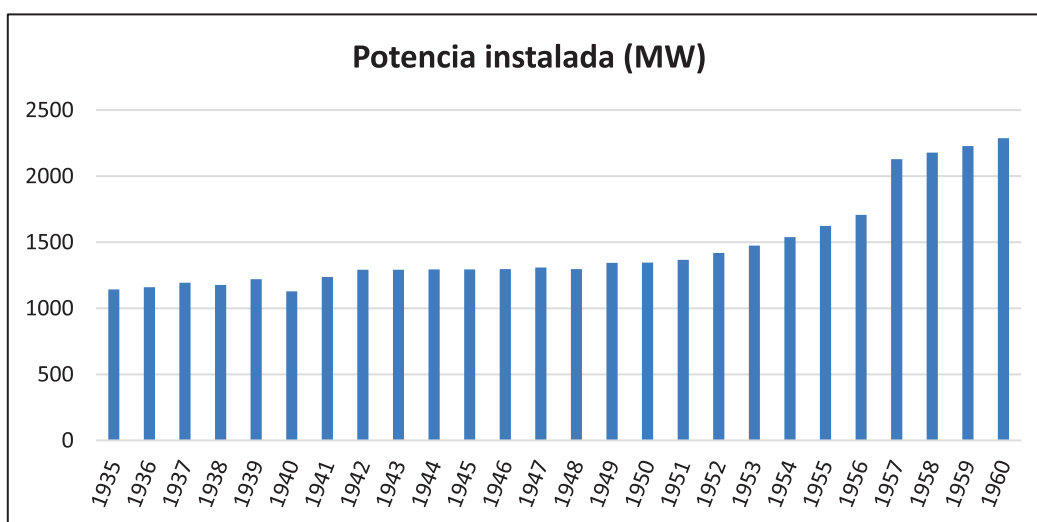


Figura 5: Evolución de la potencia instalada entre los años 1935-1960

En cuanto a la generación eléctrica por tipo de tecnología, para el año 1935 el país contaba con una participación del 4% de generación hidráulica y el restante 96% de generación térmica. Concluyendo la década del '50, estos porcentajes pasaron a ser 11% y 89% respectivamente.

Reemplazo del gas natural por la energía eléctrica para iluminación

Los primeros acontecimientos en la historia del gas en la Argentina se podrían remontar a 1853, momento en que se realizó el alumbrado mediante faroles de gas en las proximidades a la Plaza de Mayo y se sancionó la ley de alumbrado público. Este recurso era producido en la usina generadora ubicada en la zona de Retiro, denominada “Bajo de las Catalinas”. La zona era próxima al Río de la Plata, lo que favorecería a las barcazas que transportaban el carbón para la elaboración del gas. Una vez producido, se transportaba hacia los puntos de consumo mediante conductos de losa de barro que fueron instalados en el subsuelo de las calles San Martín, Florida, del Parque (hoy en día Lavalle) y en la Plaza de Mayo. Rápidamente este proceso se extendió otorgándole iluminación a los barrios más alejados de la zona céntrica. Para 1890 había cuatro compañías dedicadas a la iluminación mediante el uso de gas manufacturado para ser utilizado en calles, plazas y edificios.

Para comienzos del siglo XX, precisamente en el año 1910, la Municipalidad de Buenos Aires firmó un contrato con la “Compañía Primitiva de Gas de Buenos Aires”, uniéndolo de este modo a todas las demás empresas del rubro que tenían como objetivo la iluminación a gas de la ciudad.

Con el estallido de la Primera Guerra Mundial se produjo una caída de las importaciones de carbón, como se detalló anteriormente, lo cual trajo aparejado un aumento de los precios del gas que condujo a cancelar el

contrato de iluminación mediante el uso de este recurso. Esta medida fue acompañada a su vez por el crecimiento de la iluminación eléctrica en el país, a comienzos de la segunda década del siglo XX. La compañía se vio obligada a alejarse del uso del gas como forma de iluminación y tuvo que impulsar su utilización para cocción de alimentos. El reemplazo llevó a que la empresa publicite el uso del gas en el hogar presentándolo como un servicio moderno y eficiente en comparación con sus antecesores la leña y el carbón vegetal.

Primer Balance Energético Nacional (BEN)

A partir del año 1961 el país cuenta con el primer Balance Energético Nacional (BEN) realizado por la ex Secretaría de Energía, el cual fue reconstruido y complementado para componer la serie histórica 1960–1972 en el marco del Programa de Investigaciones Energéticas que dieron origen al primer balance.

Es una herramienta que facilita la planificación global energética. Permite visualizar cómo se produce la energía, se exporta o importa, se transforma o se consume por los distintos sectores económicos, permitiendo además el cálculo de relaciones de eficiencia y diagnósticos de situación. Esta contabilización se lleva a cabo para el territorio nacional anualmente. En él se puede encontrar en forma desagregada la energía primaria y secundaria consumida, siendo la primera las fuentes de energía como se encuentran en la naturaleza, y la segunda las diferentes fuentes de energía producidas a partir de energías primarias o secundarias en los distintos centros de transformación.

Contando con esta herramienta se analizará a partir de 1960 la matriz energética a intervalos de diez años, teniendo en cuenta los principales acontecimientos nacionales.

La oferta interna de energía secundaria al año 1960 se componía de la siguiente forma:

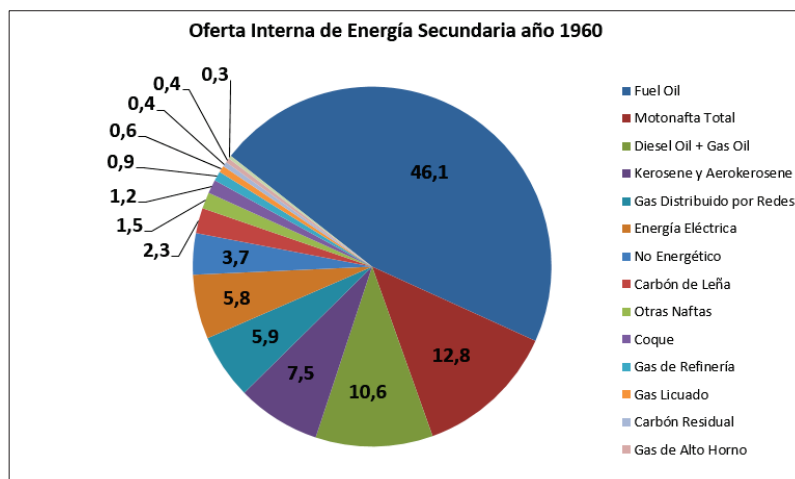


Figura 6: Participación de la electricidad y los combustibles en la oferta energética – 1960

El 5,8% de la oferta de energía secundaria correspondía a electricidad, el 89,8% a combustibles fósiles, el 0,7% a subproductos de la industria metalúrgica (gas de coquería y gas de alto horno) y el

resto a no energéticos como el asfalto, entre otros. La oferta de energía eléctrica se componía de la siguiente forma:

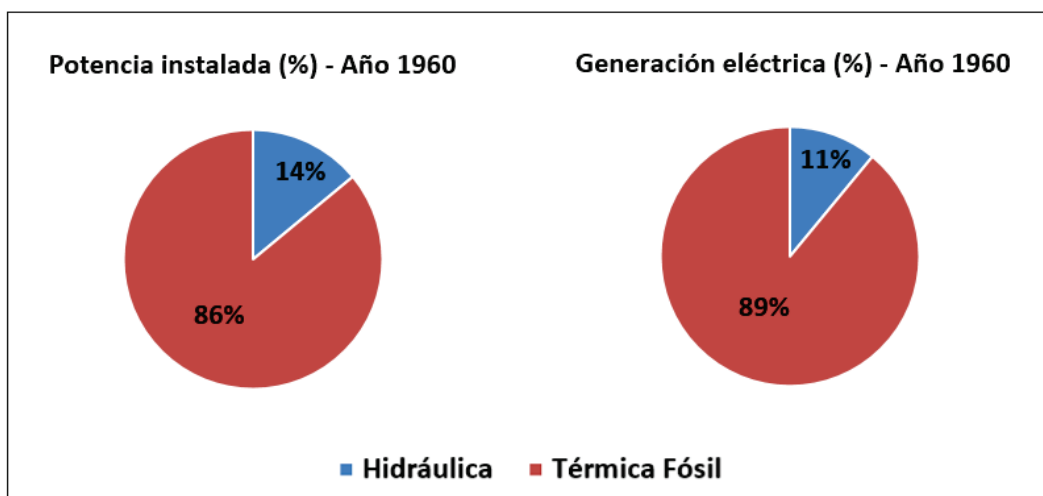


Figura 7: Participación de la potencia instalada y la generación por tipo de tecnología – 1960

Década 1961-1970

A pesar de que las actividades de generación y transporte no estaban especificadas, el abastecimiento era regulado por la recientemente creada Secretaría de Energía y Combustibles. Se abría la posibilidad al capital privado (anulada ya la Constitución de 1949) y, a su vez, la Nación se reservaba el derecho de otorgar concesiones privadas para el aprovechamiento de los recursos hídricos. En los '60, las inversiones estatales eran de poco

valor dada la escasez de capital para llevarlas adelante. Se recurrió entonces a las concesiones privadas de capital extranjero para el desarrollo energético del país.

En el año 1963 comenzó a operar el primer generador de la Central Térmica Costanera, ubicada a orillas del Río de la Plata, en la zona sur de la ciudad de Buenos Aires. Hoy en día cuenta con seis grupos convencionales generando un total de 1.138 MW, junto a dos grupos de

ciclo combinado (el último ingresó en 1997) sumando 1.186 MW, para totalizar una potencia instalada de 2.324 MW. A la fecha, es la central termoeléctrica de mayor potencia del país.

Entre 1960 y 1961 el consumo de gas en la generación eléctrica se incrementó, pasando rápidamente del 1,6% al 12,8% y un año después superó el 20%. La turbina de gas ocupa un lugar importante como nueva tecnología en competencia con las turbinas de vapor. Al final de la década, por su parte, la potencia instalada de autoproducción llegó al 30% del total generado. Esto es importante, ya que la autoproducción, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, tuvo una participación significativa en el total de la potencia instalada del país, alcanzando posteriormente a fines de la década del '90 un 11%.

A principios de la década del '60, la utilización de energía hidroeléctrica estaba limitada a unos pocos

sistemas regionales aislados, dependiendo del fomento de empresas públicas provinciales como la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) y Energía Mendoza Sociedad del Estado (EMSE).

En cuanto a la oferta de energía eléctrica, el gobierno nacional creó en 1967 la empresa Hidroeléctrica Norpatagónica S.A., más conocida como Hidronor, cuyo objetivo era desarrollar aprovechamientos hidroeléctricos sobre los ríos Neuquén y Limay. Un año más tarde, comenzó la construcción del complejo El Chocón, obra que por sus dimensiones y potencia instalada se convertiría en una pieza fundamental del sistema energético del país. Fue por entonces llamada “la obra del siglo”.

Otra obra relevante del sector eléctrico fue el inicio de la construcción de la central nuclear Atucha I en 1968, primera en su tipo del país y de América Latina.

La oferta interna de energía secundaria al año 1970 se componía de la siguiente forma:

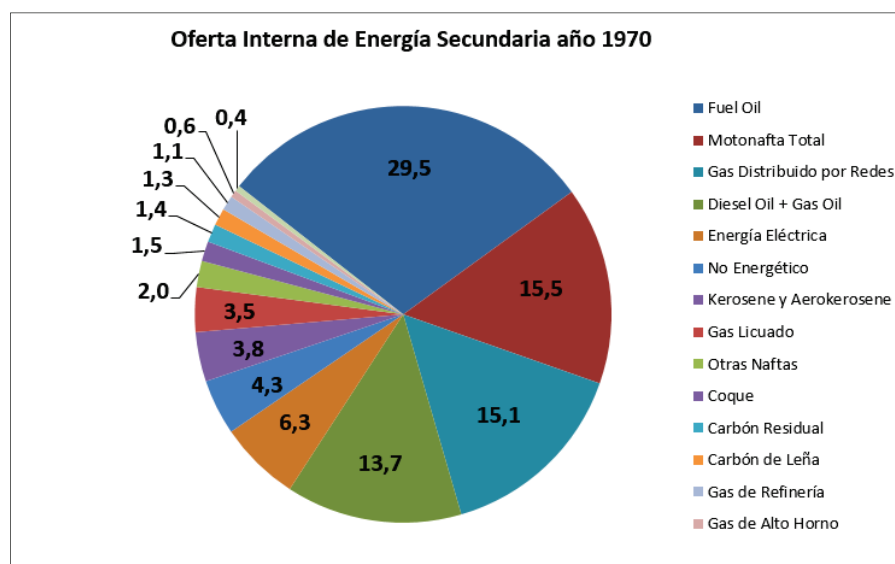


Figura 8: participación de la electricidad y los combustibles en la oferta energética – 1970

El 6,3% de la oferta de energía secundaria correspondía a electricidad, el 88,4% a combustibles fósiles, el 1% a subproductos de la industria metalúrgica (gas de coquería y gas de alto horno) y el resto no energéticos.

La oferta de energía eléctrica se componía de la siguiente forma:

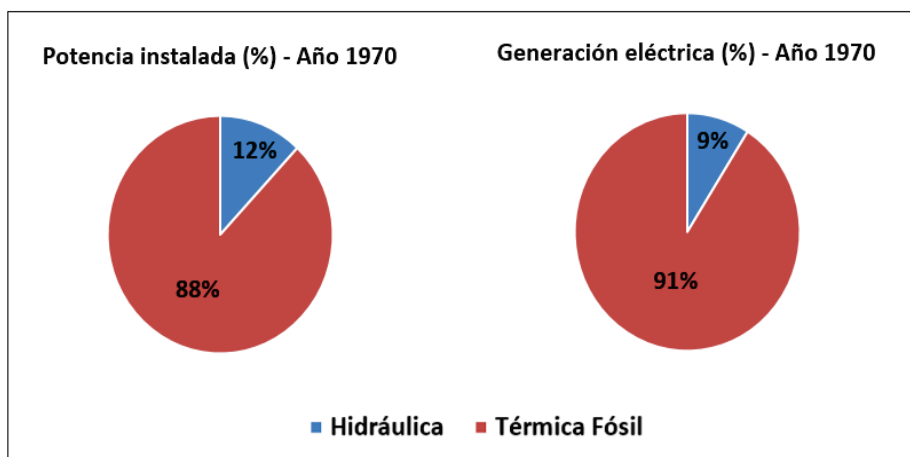


Figura 9: Participación de la potencia instalada y la generación por tipo de tecnología – 1970

Década 1971-1980

A principios de este periodo se produce la crisis internacional del petróleo desatada en 1973 producto de la decisión de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) de incrementar el precio del crudo considerablemente y de restringir la exportación a los países que apoyaron a Israel en la guerra de Yom

Kippur (los aliados a dicho país eran Estados Unidos, Reino Unido y Francia). Esta restricción, sumada al aumento de precio, elevó el valor del barril a nivel mundial. Este suceso fue un disparador importante a nivel mundial para la mayor utilización de la energía nuclear, como se puede observar en la siguiente figura:

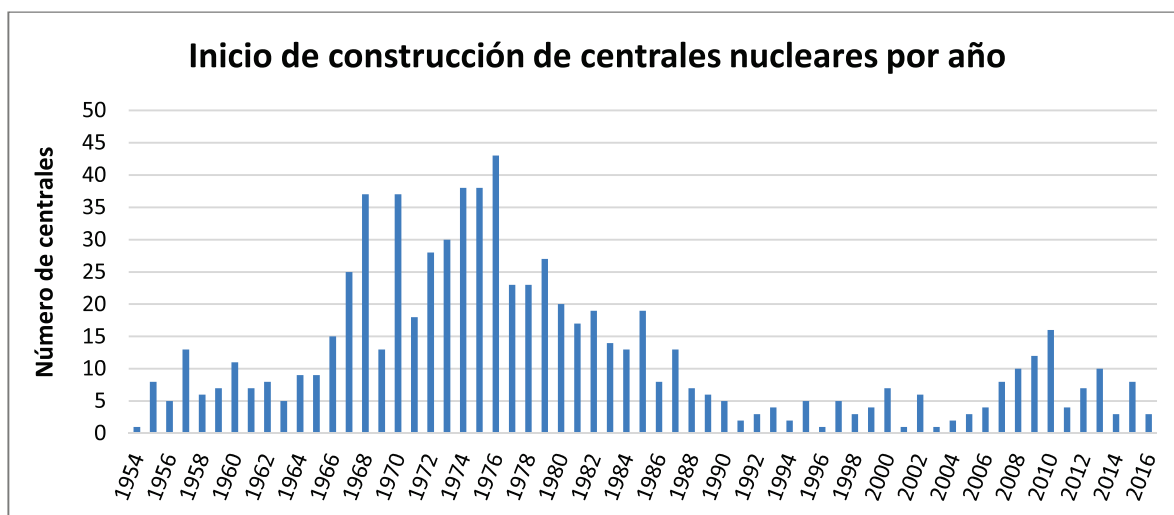


Figura 10: Inicio de construcción de centrales nucleares en el mundo

Al mismo tiempo en nuestro país se registró un aumento del volumen de importaciones de petróleo debido a los requerimientos internos, lo que generó un impacto negativo en la balanza energética.

Ante el aumento del precio del petróleo en esta década, se registraron en el país obras hidroeléctricas de gran magnitud. En esa dirección, en el año 1973 se firmó

el acuerdo para la construcción de la represa binacional entre Argentina y Paraguay, aprovechamiento hidroeléctrico en el río Paraná a la altura de la isla de Yacretá, obra que recién a fines de 2010 sería completada. En ese mismo año finalizó la construcción del complejo hidroeléctrico Chocón – Cerros Colorados, cuya potencia instalada es de 1.227 MW y 450 MW

respectivamente. Terminando la década se habilitan las primeras unidades de generación de la represa de Salto Grande, que aprovecha el caudal del río Uruguay a través del acuerdo firmado entre Argentina y Uruguay en 1938. La central hidráulica tiene una potencia de 1.890 MW. También comenzó a operar la central Futaleufú (Chubut), como parte de la expansión de la matriz hacia

el sur del país, y además en el norte, la central Cabra Corral (Salta).

En materia de energía nuclear, entró en operación en el año 1974 la central nuclear Atucha I (357 MW), un logro alcanzado gracias a la política nacional sostenida en investigación y desarrollo.



Figura 11: Central nuclear Atucha I

En el año 1977 se descubrió la reserva gasífera “Loma La Lata” a tan solo 100 km de Plaza Huincul, provincia del Neuquén, lugar donde 60 años antes se había descubierto petróleo. La zona del descubrimiento

contaba con una acelerada exploración desde 1955. Luego de dicho hallazgo se perforaron cuatro pozos más, comenzando así la explotación del área. La oferta interna de energía secundaria al año 1980 se componía de la siguiente forma:

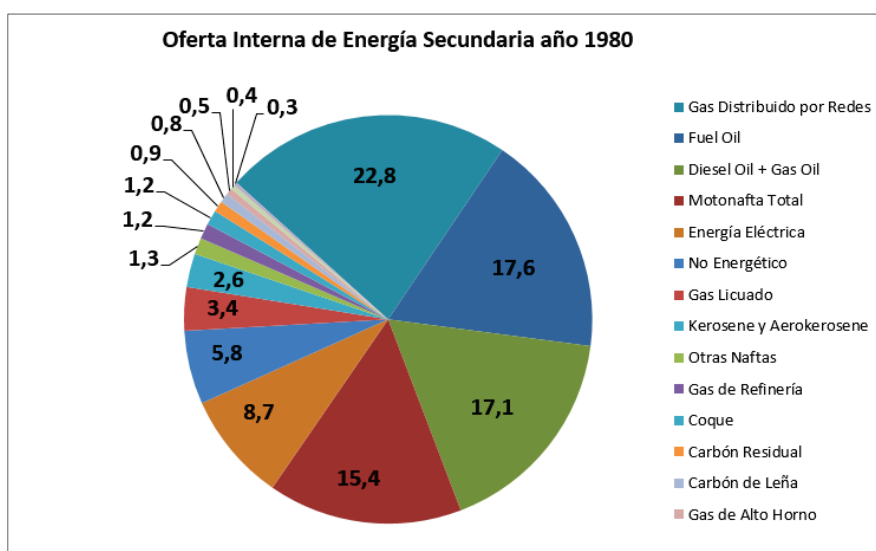


Figura 12: Participación de la electricidad y los combustibles en la oferta energética – 1980

El 8,7% de la oferta de energía secundaria correspondía a electricidad, el 84,6% a combustibles fósiles, el 0,9% a subproductos de la industria

metalúrgica (gas de coquería y gas de alto horno) y el resto a no energéticos. La oferta de energía eléctrica se componía de la siguiente forma:

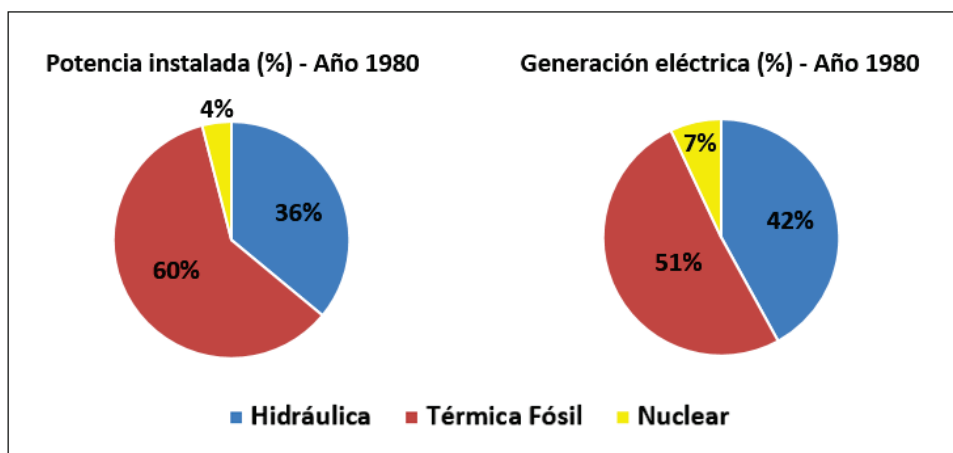


Figura 13: Participación de la potencia instalada y la generación por tipo de tecnología - 1980

Década 1981-1990

Durante la década del '80 se continuó con la consolidación de la energía nuclear en la oferta eléctrica, con el ingreso de la central nuclear Embalse (648 MW) en el año 1984.

En esta década se incorporaron importantes centrales hidráulicas tales como Agua del Toro y Los Reyunos en la provincia de Mendoza, los aprovechamientos Arroyito y Alicurá en la cuenca del Comahue y la central de

bombeo Río Grande en Córdoba, siendo esta última la mayor central de este tipo en Sudamérica.

En 1988 entró en operación la planta piloto geotérmica en Copahue de 0,67 MW. La central operó hasta quedar fuera de servicio en el año 1998.

La oferta interna de energía secundaria al año 1990 se componía de la siguiente forma:

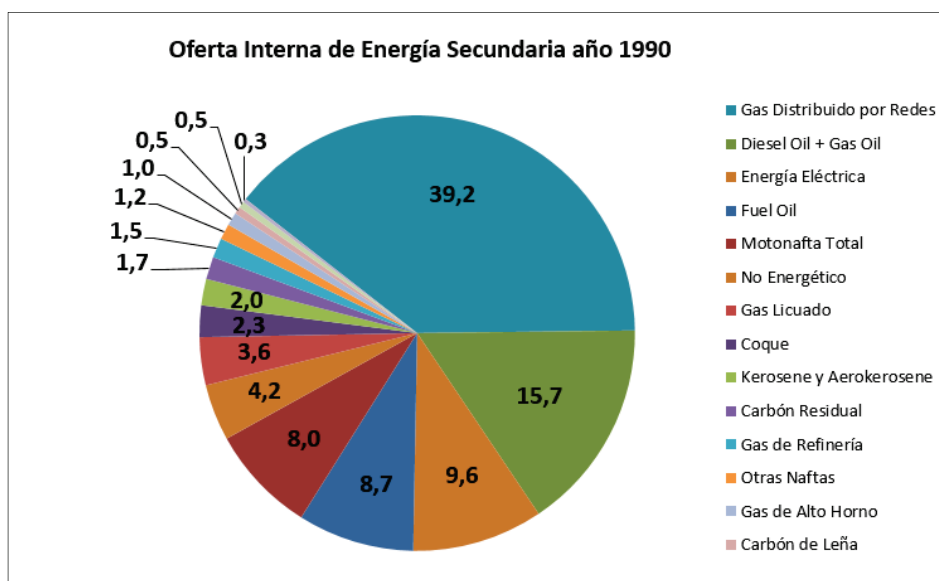


Figura 14: Participación de la electricidad y los combustibles en la oferta energética – 1990

El 9,7% de la oferta de energía secundaria correspondía a electricidad, el 84,6% a combustibles fósiles, el 1,5% a subproductos de la industria metalúrgica (gas de

coquería y gas de alto horno) y el resto a no energéticos. La oferta de energía eléctrica se componía de la siguiente forma:

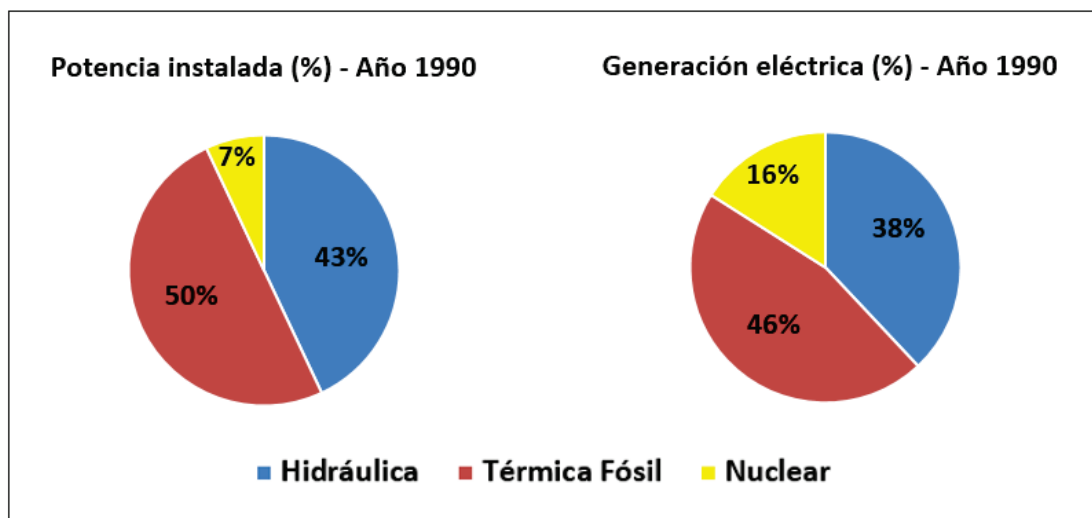


Figura 15: Participación de la potencia instalada y la generación por tipo de tecnología – 1990

Década 1991-2000

Si bien durante esta década no se introdujo nueva potencia nuclear, en el año 1991 la participación de este tipo de tecnología alcanzó su máximo histórico de 17% de la generación total nacional.

Por otra parte, en 1994 se incorporó a la matriz energética una nueva tecnología, las turbinas eólicas, en el primer parque eólico comercial del país “Antonio Morán” (inicialmente con 500 Kw), en Comodoro Rivadavia.

La década del '90 estuvo marcada por una política de privatización y desregulación de los mercados energéticos. El 26 de marzo de 1992 se aprobó la privatización de Gas del Estado en la Cámara de Diputados de la Nación y el 24 de septiembre del mismo año una ley declaró a YPF sujeta a privatización (Ley N° 24.145), efectivizándose entre 1993 y 1999.

En cuanto a generación hidráulica entraron en servicio Piedra del Águila en 1993 y en 1999 Pichi Picún Leufú, ambas sobre el río Limay en la Cuenca del Comahue.

En julio de 1992 se constituyó la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA) con el fin de:

- Ejecutar el despacho económico para aportar economía y racionalidad en la administración del recurso energético.
- Coordinar la operación centralizada del Sistema

Interconectado Nacional (SIN) para garantizar seguridad y calidad.

- Administrar el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) asegurando transparencia por medio de la participación de todos los agentes involucrados y el respeto a las reglamentaciones respectivas.
- En 1993, mediante la Ley N° 24.065, se constituye el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) para llevar a cabo las medidas necesarias para cumplir los objetivos de la política nacional respecto del abastecimiento, transporte y distribución de la electricidad.

Las empresas privadas incrementaron la producción y el excedente fue volcado hacia el mercado internacional, y las obras de transporte de energía fueron planteadas bajo esa lógica, construyendo un oleoducto que unía la cuenca neuquina con el puerto de Concepción (Chile), y cinco gasoductos para exportar a Chile, uno a Brasil y otro a Uruguay.

En cuanto al mercado interno, la oferta eléctrica, los cambios en las regulaciones y los bajos precios del gas natural llevaron a una fuerte incorporación de centrales de tipo ciclo combinado entre los años 1997 y 2001, como se observa en la siguiente figura. Este tipo de tecnologías de rápida construcción y alta eficiencia resultan atractivas al sector privado, que busca la mayor ganancia en el menor tiempo posible.

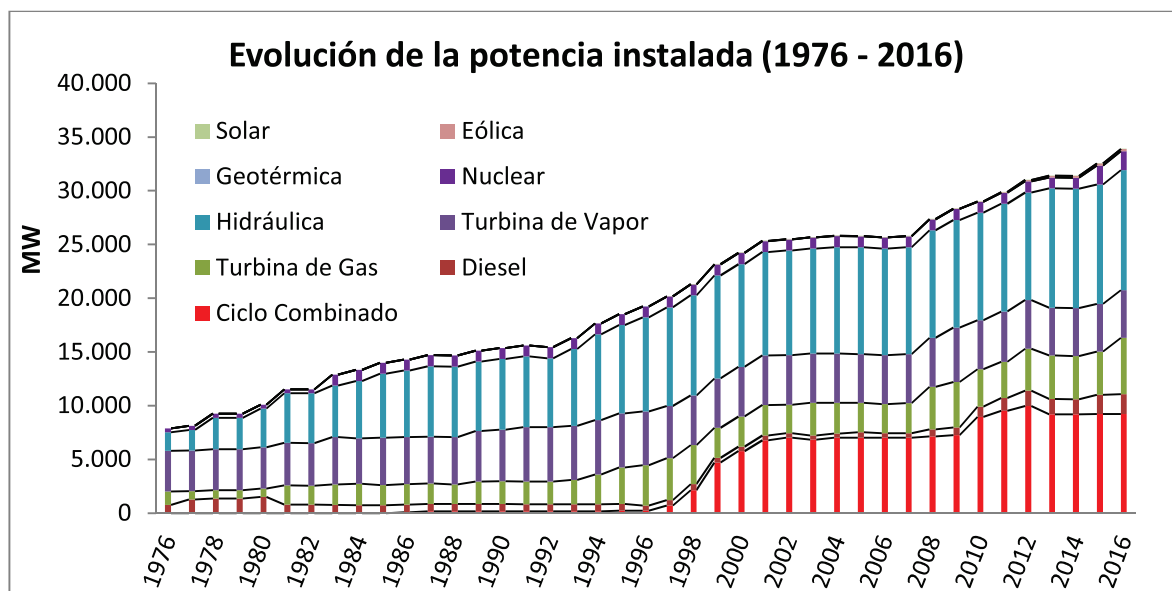


Figura 16: Evolución de la potencia instalada en el sector eléctrico

La oferta interna de energía secundaria al año 2000 se componía de la siguiente forma:

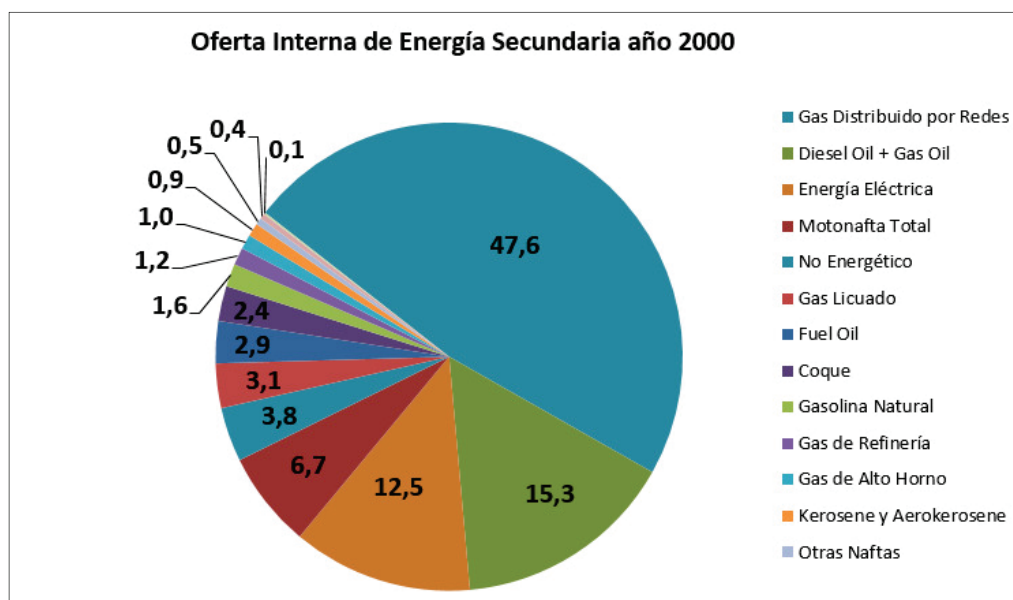


Figura 17: Participación de la electricidad y los combustibles en la oferta energética – 2000

El 12,5% de la oferta de energía secundaria correspondía a electricidad, el 82,6% a combustibles fósiles, el 1,1% a subproductos de la industria metalúrgica (gas de coquería y gas de alto horno), y el

resto a no energéticos.

La oferta de energía eléctrica se componía de la siguiente forma:

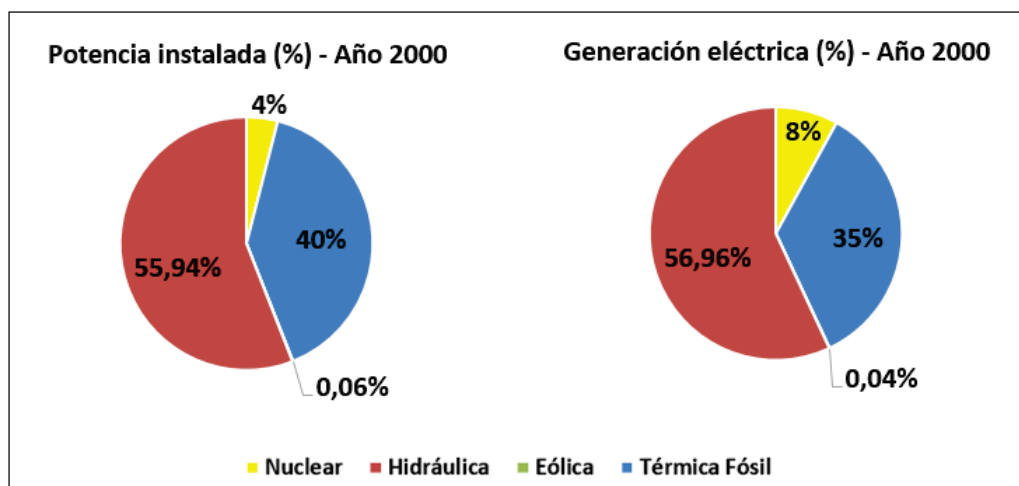


Figura 18: Participación de la potencia instalada y la generación por tipo de tecnología - 2000

Década 2001-2010

A principios del nuevo siglo el sistema eléctrico nacional debió afrontar serios inconvenientes debido a la caída de la demanda que acompañó a los últimos años del régimen de convertibilidad. A pesar de esto, el rápido cambio en la tendencia de la actividad económica e industrial del nuevo esquema económico revirtió esta situación.

En agosto del año 2006, el gobierno argentino anunció oficialmente la decisión de reactivar la actividad nuclear en el país, lo que incluyó el establecimiento de un programa nuclear para el corto y mediano plazo basado en dos ejes principales: las aplicaciones de la tecnología nuclear a la salud pública y la industria, y la consolidación de la opción nuclear como fuente de generación eléctrica, buscando incrementar su participación en la matriz eléctrica nacional, mediante:

- La finalización de la obra de construcción de la central nuclear Atucha II.
- La extensión de vida de la central nuclear Embalse.
- La iniciación de estudios preliminares de factibilidad para la construcción de una cuarta central nuclear.
- La producción de agua pesada para ser utilizada en la central nuclear Atucha II.
- La finalización de estudios de factibilidad para la construcción del prototipo de central modular, de baja potencia (25 MW) y diseño nacional, bajo la denominación de Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM).
- La reactivación tanto de la exploración de uranio en todo el país, como de la construcción de la planta piloto de enriquecimiento de uranio.

A su vez, en el año 2006 se lanzó el Programa Energía Plus, para estimular a los inversores privados a

construir y ampliar centrales térmicas de mediana y alta potencia, garantizando la compra de la electricidad a suministrar a un precio por encima del precio "spot" máximo, y se sancionó la Ley N° 26.190/06 implementándose el Programa GENREN, enmarcado en dicha legislación tres años después. Ambos son instrumentos de fomento de la generación eléctrica a partir de la utilización de fuentes renovables. Como parte de este programa de nuevas centrales se construyó la represa hidroeléctrica Los Caracoles (San Juan) de 125 MW.

El acelerado crecimiento económico impuso la necesidad de volver a expandir rápidamente la oferta. A partir del 2007 el mercado eléctrico argentino recuperó el sendero de crecimiento interrumpido por la crisis de 2001, abasteciendo las necesidades de una economía creciente. Se implementó un fuerte programa de inversión pública articulado con el sector privado, lo que sustentó la satisfactoria respuesta del sector a la demanda generada por el nuevo modelo económico.

Asimismo, cabe destacar en estos años la importante expansión del sistema de transmisión eléctrica a lo largo y ancho del país, como se puede observar en la Figura 19. Entre los años 2007 y 2014 se construyeron más de 7.000 km de nuevas líneas, ampliando el abastecimiento en grandes áreas, siendo las obras más importantes:

- Interconexión NOA-NEA, que permitió la integración eléctrica del noroeste con el noreste y la vinculación física con la totalidad del SADI. Es, además, considerada la mayor obra de interconexión eléctrica de la historia de la Argentina.
- Tercera línea de Yacretá, evacuando hacia el área metropolitana de Buenos Aires la mayor energía que

- produce la elevación de la cota de Yacyretá.
- Interconexión de la Patagonia, que vinculó desde el 2016 a la Patagonia Austral (Chubut, Santa Cruz) con el SADI. También se hicieron efectivas en el periodo otras conexiones intrarregionales.
- Además de las anteriores obras, se realizaron las siguientes interconexiones, en orden decreciente de extensión: Comahue - Cuyo; La Rioja - Catamarca; San Juan – Mendoza; y Rosario Oeste - Río Coronda.

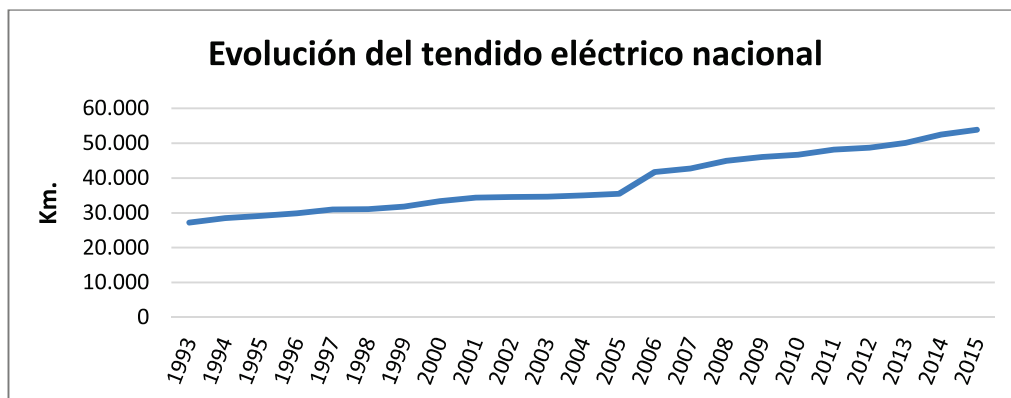


Figura 19: Evolución del sistema interconectado nacional

El refuerzo en el transporte de energía eléctrica no tiene un impacto directo en la matriz eléctrica, pero es indispensable para asegurar el abastecimiento.

Si bien fue ampliada la capacidad de transporte de energía eléctrica, el sector energético empezaba a ver con preocupación la caída de las reservas de gas natural.

Con una producción en continuo crecimiento y la ausencia de inversiones en exploración, lo que supuso ser un país con un horizonte de gas de 47 años con el descubrimiento de Loma La Lata en los '70, se convirtió en un país importador en menos de 30 años como se observa en la siguiente figura.

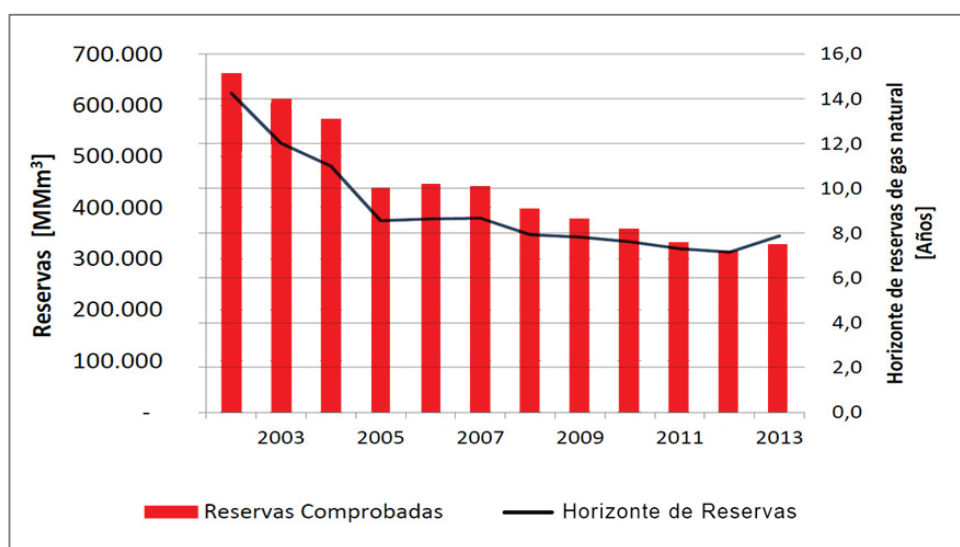


Figura 20: Evolución del horizonte de reservas de gas natural en Argentina

Lo mismo se empezó a evidenciar en cuanto a los hidrocarburos, como se puede observar en la Figura 21.

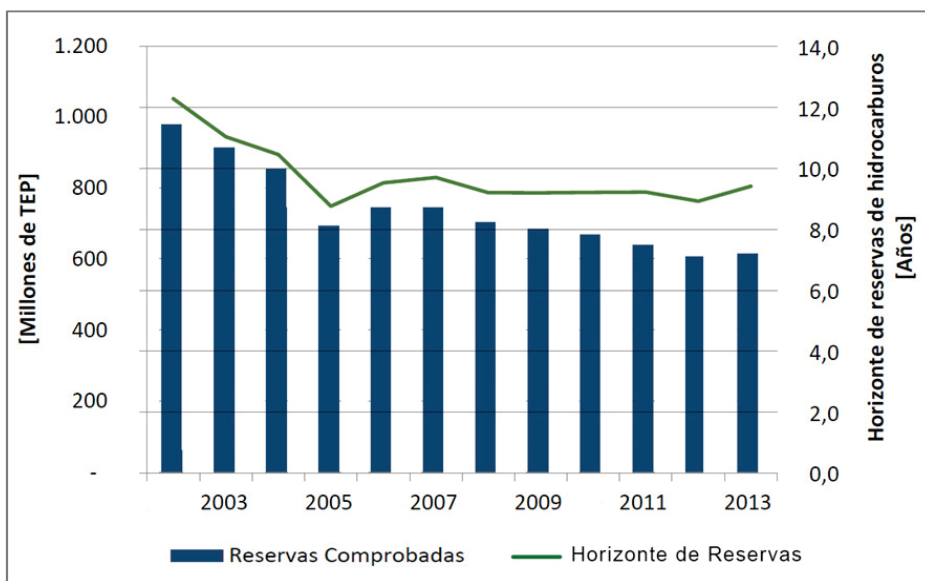


Figura 21: Evolución del horizonte de reservas de hidrocarburos en Argentina

La oferta interna de energía secundaria al año 2010 se componía de la siguiente forma:

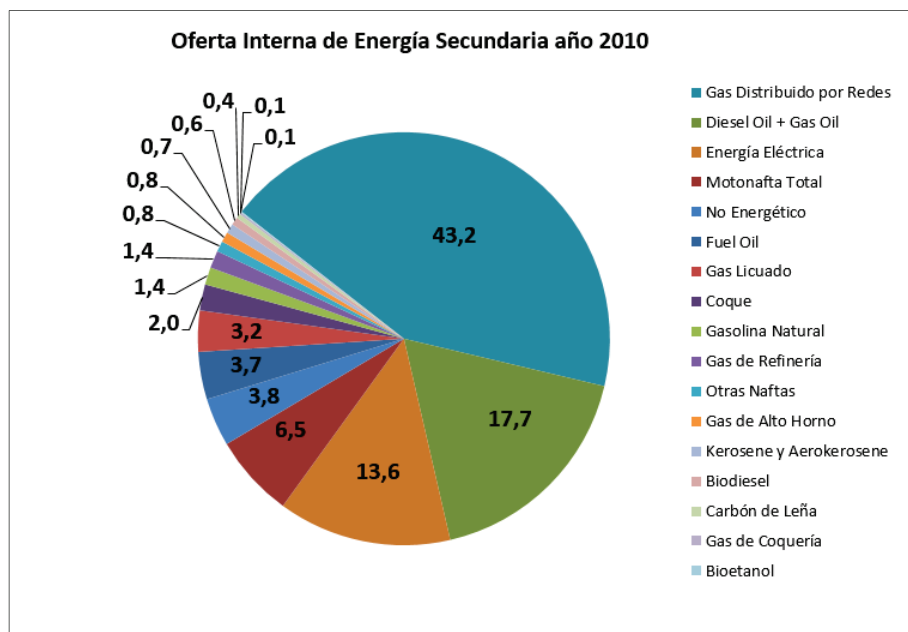


Figura 22: Participación de la electricidad y los combustibles en la oferta energética – 2010

El 13,6% de la oferta de energía secundaria correspondía a electricidad, el 81% a combustibles fósiles, el 0,9% a subproductos de la industria metalúrgica (gas de coquería y gas de alto horno), el

0,7% a biocombustibles y el resto a no energéticos. Se puede observar que es la primera vez, desde el año 1960, que el gas natural (gas distribuido por redes) disminuye su participación en la oferta energética.

La oferta de energía eléctrica se componía de la siguiente forma:

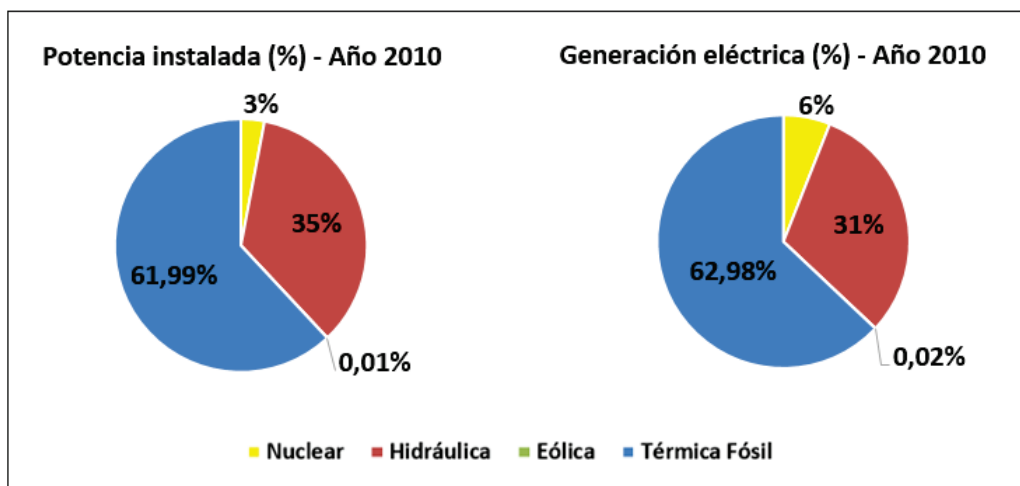


Figura 23: Participación de la potencia instalada y la generación por tipo de tecnología – 2010

A partir de la década del 2010 comenzaron a aparecer los biocombustibles en la oferta interna. Esto fue debido a la decisión de incorporar un porcentaje de ellos en los combustibles utilizados por los medios de transporte. La Ley N° 26.093 “Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles”, del año 2006, asignó el grado de mezcla entre combustibles fósiles y biocombustibles para uso automotor. Originalmente el porcentaje de biocombustibles en la mezcla era del 5%, pero a partir del año 2013 a través de la Resolución 1125/2013 de la ex Secretaría de Energía la mezcla de biodiesel se elevó a un mínimo del 10% y, posteriormente, a través del Decreto 543/2016 del Poder Ejecutivo Nacional, el porcentaje de bioetanol en su mezcla con las naftas de uso automotor se elevó al 12%.

En agosto de 2017 el país contaba con cuatro centrales térmicas de generación a biogás, que totalizan 21,1 MW, emplazadas en las regiones eléctricas Centro y Gran Buenos Aires.

Década actual - 2011 al 2016

En el año 2011, YPF confirmó el hallazgo de Vaca Muerta, formación de petróleo y gas no convencional (“shale oil” y “shale gas” respectivamente), que representaría para nuestro país el equivalente a 410 años de consumo de gas y 123 años de consumo de petróleo.

Mediante la Ley N° 26.741 promulgada en mayo de 2012 se estatizó el 51% de las acciones de YPF, la cual se encontraba hasta ese entonces en manos de la empresa Repsol. Argentina recupera así su principal empresa energética, privatizada en la década del '90.

Durante el año 2011 se alcanzó la cota máxima de 83 m.s.n.m de Yacretá con una potencia de 3.200 MW, aportando cerca del 22% de la electricidad del país.

Otro acontecimiento energético relevante ocurrió el 3 de junio de 2014, cuando alcanzó su primera criticidad la central nuclear Atucha II de 745 MW, para luego generar a plena potencia de despacho el 18 febrero de 2015. La central comenzó su construcción en 1981, para luego ser postergada hasta la reactivación del plan nuclear en 2006.

En materia de energías renovables, es inaugurado en el año 2012 en la provincia de San Juan el primer parque solar fotovoltaico del país, Cañada Honda, cuya potencia alcanza los 7 MW. Esto se encuentra alineado a las políticas de fomento de las energías renovables, impulsadas mediante leyes nacionales, siendo la última vigente la Ley N° 27.191 de “Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, que prevé una incorporación de energías renovables (principalmente eólica y solar) al año 2025 que represente el 20% de la demanda de energía total del país.

Con respecto a los cambios evidenciados en el uso de la energía, particularmente en el sector residencial y de servicios, aparecen los equipos de aire acondicionado como una variable importante en la demanda diaria de energía eléctrica durante la temporada de verano. La Figura 24 describe el consumo promedio de demanda durante un día típico (meses de otoño y primavera) frente a la demanda promedio durante los días cálidos de verano. Se puede apreciar que el consumo de estos equipos requirió, durante el año 2016, el despacho de aproximadamente 8.000 MW solamente para su demanda eléctrica.

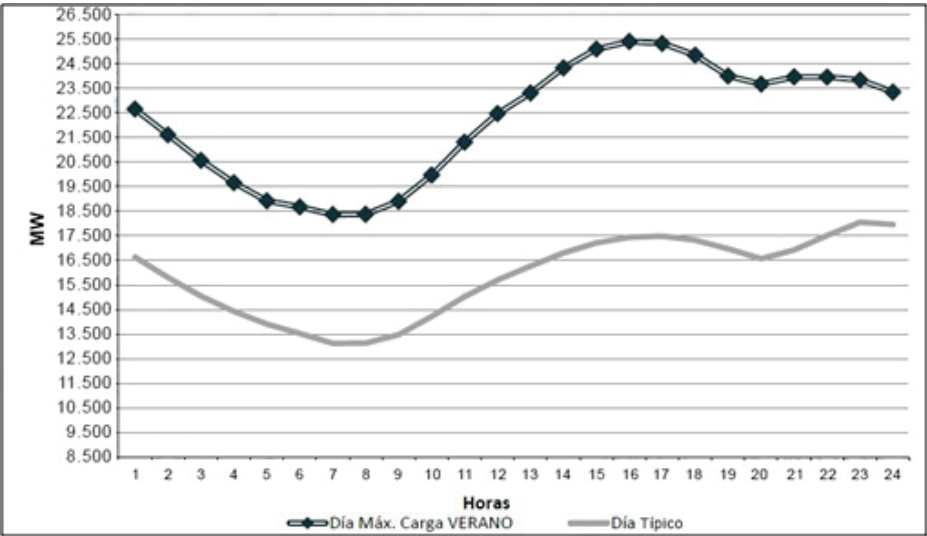


Figura 24: Demanda diaria de energía eléctrica durante la temporada de verano año 2016

Perspectivas a futuro

Al observar la evolución del consumo de la energía primaria y secundaria entre los años 1960 y 2015, se evidencia que la sociedad y los procesos productivos requirieron gradualmente menor cantidad de energía primaria y más energía secundaria. La reducción en

términos de energía primaria no solo es porcentual, sino que en valor absoluto pasó de consumirse 1.847 ktep en 1960 a 1.002 ktep en 2015, lo que significó una reducción del 46%.

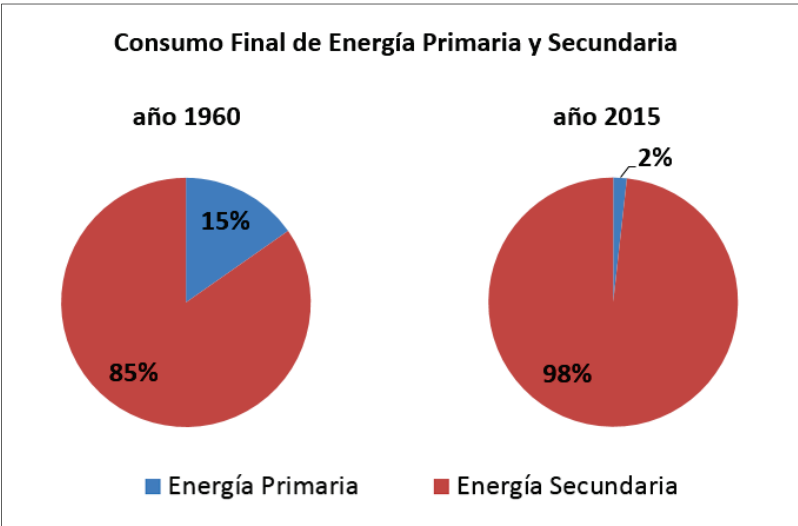


Figura 25: Evolución del consumo de energía primaria y secundaria

Al mismo tiempo, y como se pudo visualizar a lo largo de la historia, el requerimiento de energía por tipo ha estado ligado al desarrollo de la tecnología a la que acceden los usuarios finales. Por tal razón, el continuo avance de la electrónica y en el desarrollo de artefactos eléctricos

disponibles al público en general, sumado al creciente automatismo de los procesos electromecánicos a nivel industrial, ha impulsado el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el consumo final, como puede observarse en la figura siguiente.

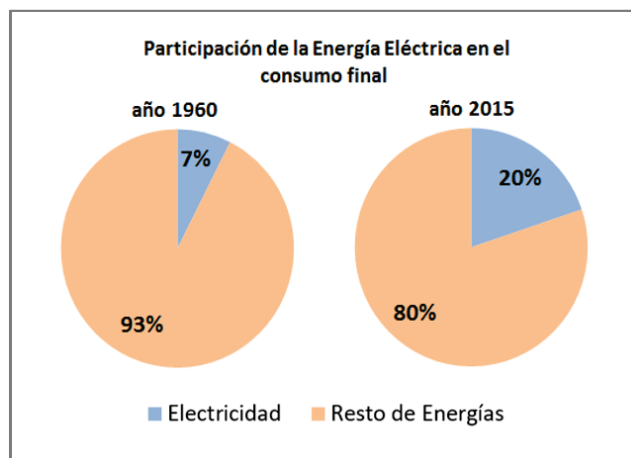


Figura 26: Evolución de la participación de la energía eléctrica en la demanda de energía final

Por lo tanto, al pensar en escenarios futuros, es sumamente previsible que las tendencias históricas observadas continúen en el largo plazo.

La matriz energética nacional es y será fuertemente dependiente de los combustibles fósiles, sobre todo del gas natural, como puede observarse en la Figura 27. Al no haberse descubierto nuevos yacimientos de gas convencional de volumen relevante en los últimos años, la estrategia planteada en los escenarios de corto y mediano plazo incluye importaciones de GNL para

cubrir el faltante hasta desarrollar los recursos no convencionales de “shale gas”.

Por lo planteado, el desafío a largo plazo, tanto a nivel nacional como internacional, estará centrado en disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Al año 2015, dentro de los cinco sectores de consumo, el sector transporte de carga y pasajeros es el mayor demandante de combustibles fósiles con el 40% del total país. A nivel mundial esa situación es similar, y por esa razón constantemente se buscan soluciones al respecto.

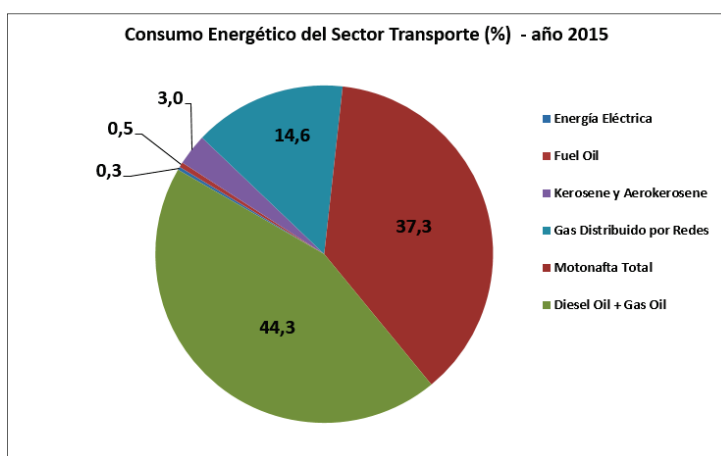


Figura 27: Composición de la demanda de energía en el sector transporte año 2015

En los últimos años ha avanzado aceleradamente el desarrollo de autos híbridos y eléctricos. Los primeros utilizan un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos, cuyas baterías son cargadas aprovechando la energía desperdiciada durante el frenado o detención. Esta es una tecnología efectiva para reducir el consumo de combustibles fósiles, sin necesidad de adaptar la infraestructura de transporte del país. En cuanto a los autos eléctricos, estos deben conectarse a la red de energía eléctrica para cargar sus baterías, por lo que se debe adaptar la infraestructura para poder brindar el suministro correcto. Durante el año 2017 se instalaron los primeros cargadores en algunas estaciones de servicio de la petrolera YPF, con miras a la introducción de estos vehículos en el corto plazo.

Con respecto a los materiales de las baterías de los autos eléctricos, el país cuenta con una ventaja estratégica al encontrarse en cuarto lugar en cantidad de reservas probadas de litio a nivel mundial. Su producción ha incrementado durante el año 2016 (37.800 t) pasando del 11% al 16% de participación en el mercado de

derivados de litio. Si se materializan los cuatro proyectos que están en estado avanzado, se incorporarían 110.000 t a la actual producción.

En este sentido, la aparición del auto eléctrico responde a dicha problemática. Sin embargo, para que la reducción sea sostenible y real, es necesario proyectar una oferta eléctrica futura con una alta participación de energía nuclear y renovable. En caso de que esto no ocurra, el impacto real no sería relevante ya que se consumirían combustibles fósiles para generar energía eléctrica.

Esto último se encuentra en línea con la política energética nacional de diversificación de la matriz energética, con las incorporaciones a mediano plazo de la cuarta y quinta central nuclear, y 10 GW acumulados de energías verdes¹ al año 2030 de acuerdo a la Ley N° 27.191. Esto estará acompañado de políticas de uso racional y eficiente de la energía, con el propósito de optimizar los recursos disponibles. Los escenarios de oferta eléctrica planteados al año 2030 por el Ministerio de Energía y Minería se observan en la siguiente figura:

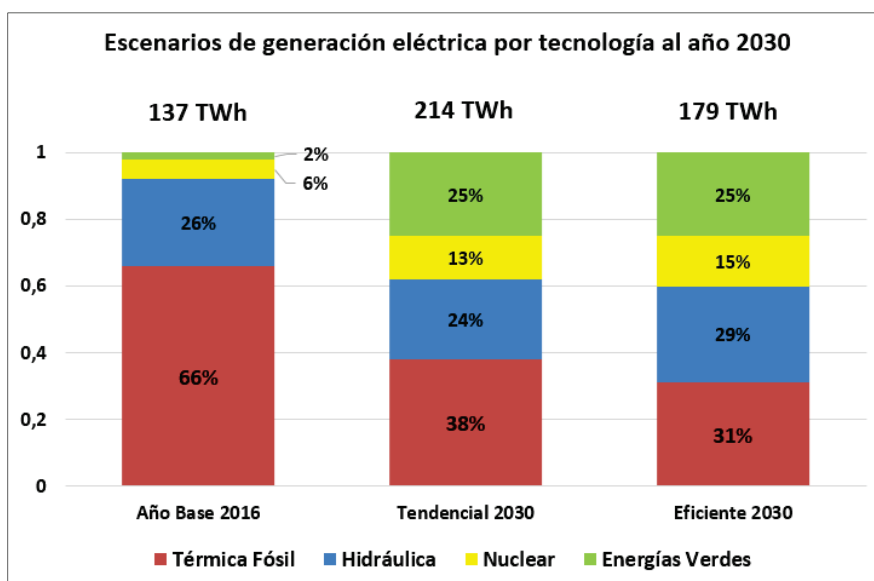


Figura 28: Escenarios de generación de energía eléctrica al 2030

Los esfuerzos son importantes, pero se deben intensificar en el largo plazo si se quiere tener una matriz energética sostenible desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental. Quizás la fusión nuclear, que es el proyecto energético más ambicioso y revolucionario a la fecha a nivel mundial, sea la

alternativa a futuro, o quizás otra tecnología o forma de energía sea la respuesta, pero indudablemente la solución será resultado del continuo progreso tecnológico acompañado por una correcta planificación energética como herramienta de definición de la política energética.

¹ Las denominadas energías verdes incluyen a todas las tecnologías renovables salvo las centrales hidráulicas mayores a 50 MW.

Fuentes consultadas:

Adriano Furlán - La transición energética en la matriz eléctrica argentina (1950-2014). Cambio técnico y configuración espacial; Año 2017.

Adolfo Dorfman - Historia de la industria argentina Ed. Hispamerica; Año 1986.

Ariela Ruiz Caro - El papel de la OPEP en el comportamiento del mercado petrolero internacional CEPAL; Año 2011.

Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC).

Auditoría General de la Nación - Energía - Informe sectorial del Presidente de la AGN; Año 2013.

CAMMESA - Informe Anual Estadístico; Año 2016.

Consejo Federal de la Energía Eléctrica - Los 50 años del Consejo Federal de la Energía Eléctrica - julio de 2010.

Dirección Nacional de Energía y Combustibles – Departamento de Estadísticas; Año 1960.

Empresa de Electricidad de La Plata (EDELAP) – Sección Histórica URL: <http://www.edelap.com.ar/historia>.

Empresa Provincial de Energía de Córdoba - Dossier N°67; Año 2007.

Enrique Rolando - El gas que llegó del frío: La construcción del gasoducto Comodoro Rivadavia Buenos Aires Petrotecnia; Año 2010.

Entidad binacional Yacyretá - URL: <http://www.eby.org.ar/index.php/institucional>. Eugenia Stratta - 100 años refinando petróleo argentino - Revista Petrotecnia; Año 2010.

Eugenia Stratta - El precio del crudo y su historia Revista Petrotecnia; Año 2010.

Félix Luna - Luces Argentinas. Una historia de la Electricidad en Nuestro País - Empresa Distribuidora Sur S.A.; Año 2002.

Fernando Germán Dachevsky - Estado y propiedad del petróleo en Argentina. Antecedentes al surgimiento de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (1907-1922) - Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales UBA.

Fernando Risuelo - Análisis de la infraestructura del gas natural en la República Argentina - Cámara Argentina de la Construcción FODECO; Año 2012.

Fernando Risuelo - Historia del petróleo en la Argentina - Cámara Argentina de la construcción FODECO; Año 2012.

Fundación MetroGas - Doña Petrona, la cocina y el gas.

Ing. Andrés Ghia - Bicentenario de la Argentina: Historia

de la energía eléctrica FODECO; Año 2012.

Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG).

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

Jorge J. Hechem - Breve historia sobre el descubrimiento de Loma La Lata -YPF Petrotecnia.

José Caffaso y Enrique Recchi - Economía energética argentina (Los esclavos mecánicos) - Editorial Don Bosco; Año 1976.

Lic. Leonel Contreras y Arq. Nora Tkach - Buenos Aires y el transporte – GCBA.

Marcelo R. Yrigoyen - Reseña sobre los conocimientos y la explotación de los hidrocarburos en Argentina antes de 1907 - Revista Petrotecnia Año 1983.

Ministerio de Economía - Secretaría de Política Económica - Producción Regional por complejos productivos; 2011.

Ministerio de Economía - El Mercado Eléctrico Argentino - Nota correspondiente a Informe Económico N° 70-2009.

Ministerio de Energía y Minería - Dirección de Economía Minera - Situación Actual y Perspectivas. Informe Especial, Mercado de Litio; Año 2017.

Ministerio de Energía y Minería- Energía Geotérmica

Ministerio de Energía y Minería-Balance Energético Nacional.

Ministerio de Energía y Minería - Documento Metodológico – Balance Energético Nacional; Año 2015.

Ministerio de Energía y Minería - Escenarios Energéticos 2025, abril de 2017. Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos.

Ministerio de Energía y Minería - Series Históricas de Energía Eléctrica 1930.

Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios - Plan Energético Nacional 2004 – 2019.

Naciones Unidas - Estudios sobre la electricidad Volumen I; Año 1962.

Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NASA).

Organización de Países Exportadores de Petróleo -

Revista Corsa Nro. 886 - Los inicios del G.N.C. en Automóviles “Una garrafa en su baúl” año 1983.

Techint – El petróleo en la Argentina.

U.S. Energy Information Administration (EIA) Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States; Año 2013.

Yacimientos Petrolíferos Fiscales - YPF, una empresa al servicio del país (1922-1972); Año 1973.

Análisis de los reactores nucleares de potencia en el mundo

COPPARI Norberto e IGLESIA Mariela – Gerencia de Planificación, Coordinación y Control – Comisión Nacional de Energía Atómica

Periódicamente el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) publica series estadísticas con información detallada de cada uno de los reactores de potencia en operación, los planificados y los que ya han finalizado su vida útil, entre otros datos relacionados con la generación nucleoelectrónica.

Al 31 de diciembre de 2016 existían en operación 448 reactores con una capacidad instalada neta de 391.116 MW y una generación de 2.476,2 TWh, hecho que implica un incremento respecto al año anterior de la potencia neta y de la generación de 8.261 MW y 34,9 TWh, respectivamente¹.

La construcción de centrales nucleares ha progresado constantemente desde el año 2000 hasta la actualidad, con 98 nuevos reactores iniciados y 77 reactores completos conectados a la red en dicho periodo. Entre estos nuevos reactores se encuentran los primeros de generación III/III+.

Este periodo se ha caracterizado por grandes cambios tecnológicos, estructurales y geográficos. Además, debe tenerse en cuenta la experiencia adquirida desde principios del siglo XXI, así como los desafíos que los proyectos han enfrentado y las soluciones que se han buscado para superarlos. La información desplegada en este documento puede ser de utilidad para los tomadores de decisiones y para los actores del sector que están involucrados en la construcción de instalaciones nucleares.

Este trabajo ofrece un panorama general del estado de las nuevas centrales nucleares en construcción, las tendencias en curso y los posibles caminos a seguir.

Los reactores listados comprenden las siguientes tecnologías:

- BWR: reactores de agua en ebullición (*Boiling Water Reactors*)
- FBR: reactores reproductores rápidos (*Fast Breeder Reactors*)
- HTGR: reactores de muy alta temperatura enfriados por gas (*High-Temperature Gas-Cooled Reactors*)
- PHWR: reactores de agua pesada presurizada (*Pressurized Heavy Water Reactors*)
- PWR: reactores de agua a presión (*Pressurized Water Reactors*).

Como parte del proceso de prospectiva nuclear y planificación energética resulta de interés analizar periódicamente una serie de aspectos que surgen del procesamiento de los datos mencionados, los cuales se presentan a continuación:

- Análisis del tiempo de construcción
- Análisis de la edad de los reactores
- Reactores en construcción

Analysis of nuclear power reactors in the world

The International Atomic Energy Agency (IAEA) periodically publishes detailed statistical reports about power reactors operating, under construction and shut down, as well as other data related to nuclear power generation.

As of December 31st, 2016, there were 448 reactors operating, with a net installed capacity of 391.116 MW and a generation of 2.476,2 TWh, showing an increase of net electrical power from the previous year: the generation of 8.261 MW and 34.9 TWh, respectively.

The construction of nuclear power plants has progressed constantly since the year 2000, with 98 new reactors under construction and 77 reactors finished, connected to the network. These new reactors include the first Generation III/III+ reactors.

This period has been characterized by great technological, structural and geographical changes. In addition, the lessons learned since the beginning of the 21st Century as well as the challenges projects have faced and the solutions that have been sought to overcome them are events that should be taken into account. The information included in this paper may be useful to decision-makers and stakeholders who are involved in the construction of nuclear power plants.

This paper provides an overview of the status of new nuclear power plants under construction, current trends and possible paths to follow.

The reactors listed include the following technologies:

- BWR: Boiling Water Reactors
- FBR: Fast Breeder Reactors
- HTGR: High-Temperature Gas-Cooled Reactors

¹ Reference Data Series No. 2 2016 Edition. Nuclear Power Reactors in the World

- PHWR: Pressurized Heavy Water Reactors
- PWR: Pressurized Water Reactors

As part of the process of prospective nuclear and energy planning, it is relevant to analyse periodically the following aspects that arise from the processing of the data mentioned above:

- Analysis of construction time
- Analysis of the age of reactors
- Reactors under construction

Análisis del tiempo de construcción

Para el análisis de esta característica resulta de interés evaluar para el periodo comprendido entre los años 1981 y 2016 el tiempo de construcción promedio del total de centrales nucleares, expresado por periodos. En la Tabla 1 y en la Figura 1 se pueden apreciar los valores de los últimos 36 años.

Periodo	Número de centrales nucleares	Tiempo de construcción promedio	
		(meses)	(años)
1981 – 1985	131	84	7
1986 – 1990	85	93	7 y 9 meses
1991 – 1995	29	82	6 y 10 meses
1996 – 2000	23	121	10 y 1 mes
2001 – 2005	20	59	4 y 11 meses
2006 – 2010	12	77	6 y 5 meses
2011 – 2015	29	68	5 y 8 meses
2016	10	76	6 y 4 meses

Tabla 1: Tiempo de construcción de centrales nucleares, promedio mundial

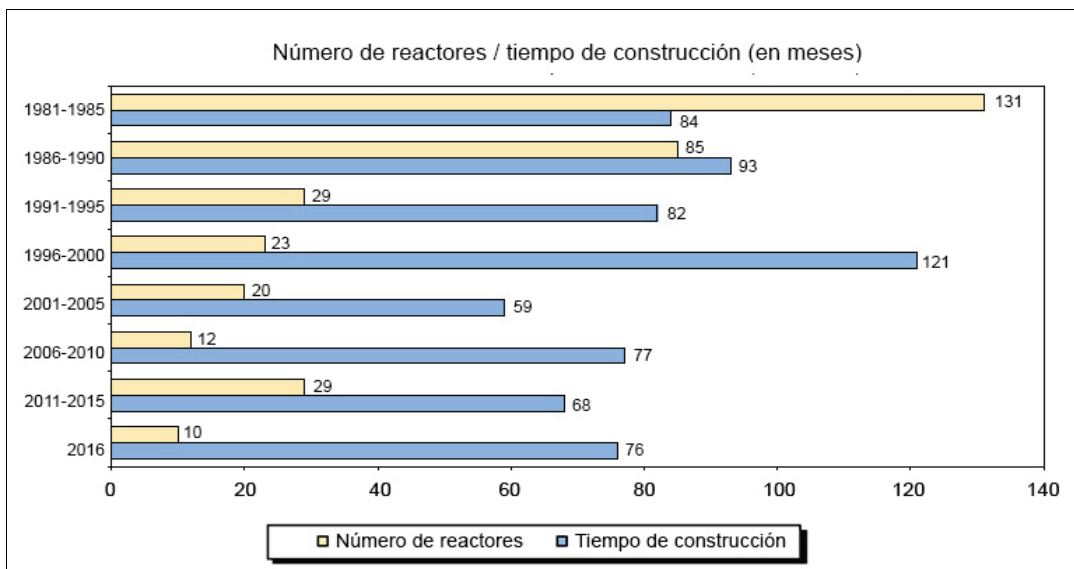


Figura 1. Reactores instalados y tiempo de construcción

En general se aprecia que los tiempos promedio varían de cinco a siete años, salvo en el periodo que va desde 1986 a 1990, con aproximadamente ocho años, que puede ser debido a una desaceleración en la actividad producto del accidente de Chernóbil en 1986, y un caso particular con valores superiores para el periodo que va desde 1996 a 2000, que se detalla a continuación en la Tabla 2.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
Brasil							
ANGRA – 2	PWR	1275	Enero/76	Julio/00	Febrero/01	24,5	25,1
República de Corea							
HANUL-3	PWR	997	Julio/93	Enero/98	Agosto/98	4,5	5,1
HANUL-4	PWR	999	Noviembre/93	Diciembre/98	Diciembre/99	5	6
WOLSONG-2	PHWR	652	Junio/92	Abril/97	Julio/97	4,8	5
WOLSONG-3	PHWR	665	Marzo/94	Marzo/98	Julio/98	4	4,2
WOLSONG-4	PHWR	669	Julio/94	Mayo/99	Octubre/99	5	5,4
Eslovaquia							
MOCHOVCE-I	PWR	436	Octubre/83	Julio/98	Octubre/98	4,7	5
MOCHOVCE-2	PWR	436	Octubre/83	Diciembre/99	Abril/00	16,2	16,5
Estados Unidos							
WATTS BAR-I	PWR	1123	Julio 73	Febrero/96	Mayo/96	22,6	22,8
Francia							
CHOOZ B-I	PWR	1500	Enero/84	Agosto/96	Mayo/00	11,6	16,2
CHOOZ B-2	PWR	1500	Diciembre/85	Abril/97	Setiembre/00	11,2	14,8
CIVAUX-I	PWR	1495	Octubre/88	Diciembre/97	Enero/02	9,2	14,2
CIVAUX-2	PWR	1495	Abril/91	Diciembre/99	Abril/02	8,7	11
India							
KAIGA-I	PHWR	202	Septiembre/89	Octubre/00	Noviem/00	11,1	11,2
KAIGA-2	PHWR	202	Diciembre/89	Diciembre/99	Marzo/00	10	10,2
RAGASTHAN-3	PHWR	202	Febrero/90	Marzo/00	Junio/00	10,1	10,3
RAGASTHAN-4	PHWR	202	Octubre/90	Noviembre/00	Diciem/00	10,1	10,2
Japón							
GENKAI-4	PWR	1127	Julio/92	Noviem/96	Julio/97	4,5	5
KASHIWASAKI KARIWA – 6	BWR	1315	Noviem/92	Enero/96	Noviem/96	3,8	4
KASHIWASAKI KARIWA – 7	BWR	1315	Julio/93	Diciembre/96	Julio/97	3,5	4
Pakistán							
CHASNUPP-I	PWR	300	Agosto/93	Junio/00	Septiem/00	6,8	7
República Checa							
TEMELIN -I	PWR	1026	Febrero/87	Diciembre/00	Junio/02	12,8	14,5
Rumania							
CERNAVODA-I	PHWR	650	Julio/82	Julio/96	Diciem/96	14	14,5

Tabla 2: Tiempo de construcción de centrales nucleares ingresadas en el periodo 1996-2000

Del análisis de la tabla anterior surge que, en el periodo evaluado, Japón ha construido sus centrales con reactores tipo BWR (KASHIWASAKI KARIWA - 6 y 7) en plazos menores a cuatro años, debido a su experiencia con dicha tecnología. Un caso similar ocurre con los reactores tipo PHWR (WOLSONG-2, 3 y 4) en la República de Corea con periodos de construcción entre cuatro y cinco años. En contraposición se presenta CERNAVODA-1, en Rumania, que demoró 14 años. Una situación similar ocurrió en India con las cuatro centrales KAIGA 1 y 2, y RAGASTHAN 3 y 4, cuya construcción demoró entre diez y once años.

Con respecto a los reactores tipo PWR, solamente en la República de Corea y Japón se construyeron en un periodo de tiempo de entre cuatro años y medio y cinco años y medio, mientras que en el resto de los países demandaron mayor cantidad de tiempo; por ejemplo, en Francia y en la República Checa, al igual que en varios países afectados por el accidente de Chernóbil.

Se observan importantes demoras de construcción en EE.UU. y Brasil con los reactores WATTS BAR-1 —que supera los 22 años— y ANGRA-2 —con 25 años—, respectivamente. Esto provoca un aumento en el promedio de años de construcción del bloque analizado.

Análisis de la edad de los reactores

De los 448 reactores en operación al 31 de diciembre del año 2016, 316 presentan una edad superior a 25 años. En la Tabla 3 se presentan los valores por periodos y en la Figura 2 la edad hasta los valores máximos de 47 años.

Edad del reactor en años	Cantidad de reactores en operación por edad en el periodo	Acumulado
Menor a 1 año	10	10
De 1 a 7 años	36	46
De 8 a 13 años	16	62
De 14 a 19 años	26	88
De 20 a 26 años	44	132
De 27 a 31 años	102	234
De 32 a 36 años	108	342
De 37 a 41 años	51	393
De 42 a 47 años	55	448

Tabla 3. Cantidad de reactores por rangos de edades

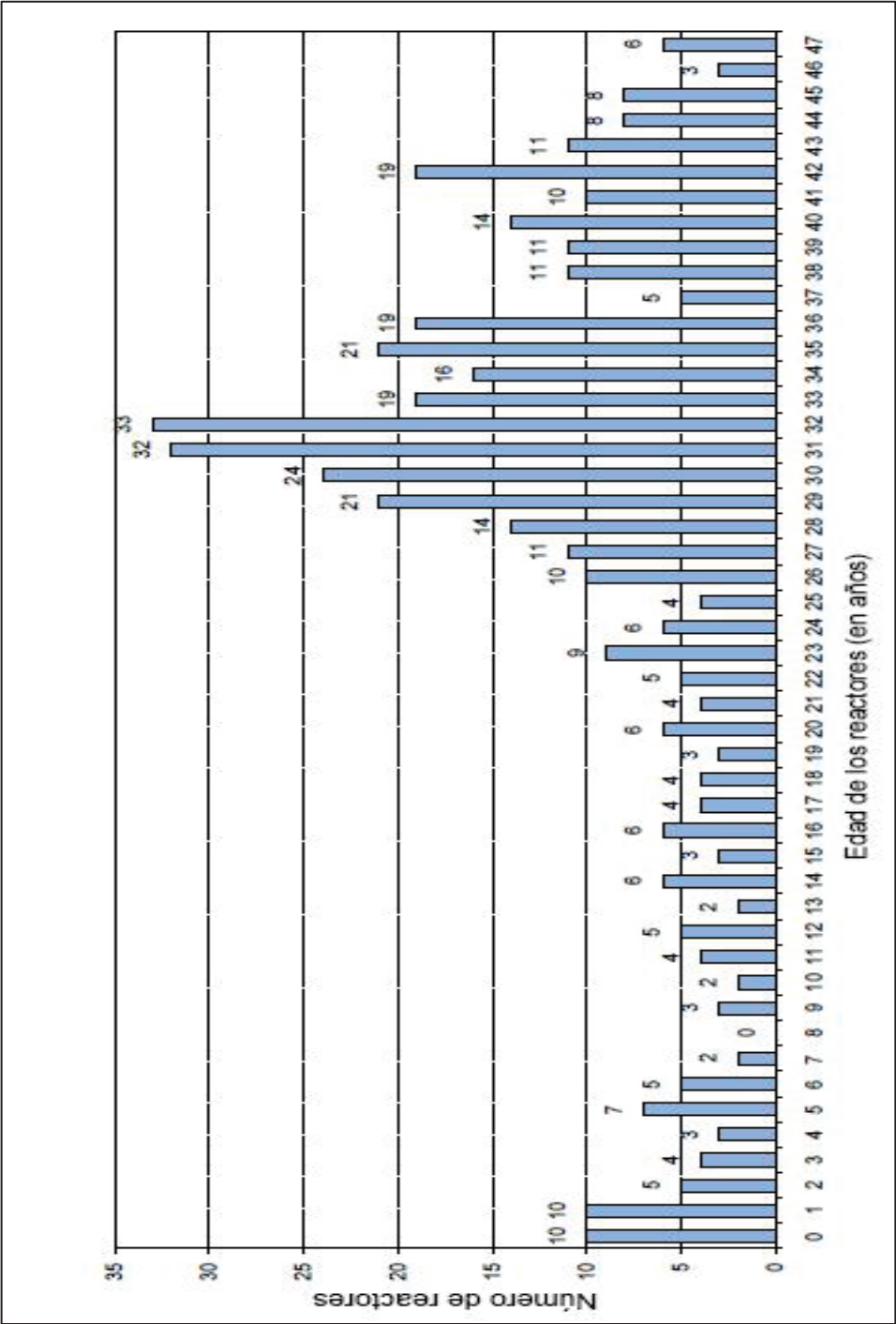


Figura 2. Análisis de los reactores nucleares de potencia en el mundo

En la Figura 2 pueden apreciarse dos picos, de los cuales el primero es mayor para los reactores con 31 y 32 años, y el segundo pico se observa para reactores con 42 años. Dependiendo de la decisión de realizar o no la extensión de vida de las centrales, una cantidad importante de MW de origen nucleoelectrónico estará fuera de servicio en el corto y mediano plazo.

Además, puede observarse que, en los últimos 25 años, durante 2015 y 2016 se produjo el mayor número de incorporaciones de centrales nucleares a la red, cifra que no se alcanzaba desde el año 1990.

En las tablas 4 a 12 se analizarán año a año los tipos de reactores que ingresaron en la última década, como así también sus tiempos de construcción asociados.

-2007: Ingresaron tres centrales nucleares, una en China (tipo PWR) y otra en India (tipo PHWR) con plazos de construcción entre cinco y seis años y medio. Se completó además el reactor de Rumania tipo PHWR que había iniciado su construcción en la década de 1980.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
TIANWAN-2	PWR	990	Septiembre/00	Mayo/07	Agosto/07	6,3	6,9
India							
KAIGA-3	PHWR	202	Marzo/02	Abril/07	Mayo/07	5,1	5,2
Rumania							
CERNAVODA-2	PHWR	650	Julio/83	Agosto/07	Octubre/07	24,1	24,3

Tabla 4. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2007

-2008: En toda la historia de la actividad nuclear, este resulta el primer año donde no se incorporaron centrales a la red.

-2009: En este año se incorporaron solamente dos centrales, uno en India y otro en Japón, tipo PHWR y PWR respectivamente. A partir de este año se comienza a notar la reactivación de la actividad nuclear a nivel mundial, que comenzó a principios del año 2000.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
India							
RAJASTHAN-5	PHWR	202	Septiem/02	Diciem/09	Febrero/10	7,2	7,5
Japón							
TOMARI-3	PWR	866	Noviem/04	Marzo/09	Diciembre/09	4,3	5,1

Tabla 5. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2009

-2010: Durante este año se terminaron de construir cinco reactores, destacándose el reactor ROSTOV-2 de Rusia que comenzó su construcción en la década de 1980. A partir de este año además comienza la penetración masiva de China en la incorporación de centrales nucleares.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potenci a neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
QINSHAN-2-3	PWR	619	Abril/06	Agosto/10	Octubre/10	4,3	4,5
LING AO-3	PWR	1007	Diciembre/05	Julio/10	Septiembre/10	4,5	4,8
República de Corea							
SHINKORI-I	PWR	997	Junio/06	Agosto/10	Febrero/11	4,2	4,6
India							
RAJASTHAN-6	PHWR	202	Enero/03	Marzo/10	Marzo/10	7,2	7,2
Rusia							
ROSTOV-2	PWR	950	Mayo/83	Marzo/10	Diciembre/10	19,8	20,7

Tabla 6. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2010

-2011: En este año ingresaron siete centrales a la red eléctrica, destacándose las de Irán y Rusia, cuya construcción comenzó en las décadas de 1970 y 1980 respectivamente. China a su vez terminó su primer reactor tipo FBR, cuya construcción se extendió durante más de 10 años.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de Inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
CEFR	FBR	20	Mayo/00	Julio/11	-	10,8	-
LING AO-4	PWR	1007	Junio/06	Mayo/11	Agosto/11	5,9	6,2
QINSHAN-2-4	PWR	610	Enero/07	Noviem/11	Diciem/11	4,8	4,9
India							
KAIGA-4	PHWR	202	Mayo/02	Enero/11	Enero/11	8,7	8,7
Irán							
BUSHEHR-I	PWR	915	Mayo/75	Septiem/11	Septiem/13	36,3	38,3
Pakistán							
CHASNUPP-2	PWR	300	Diciembre/05	Marzo/11	Mayo/11	5,3	5,5
Rusia							
KALININ-4	PWR	950	Agosto/86	Noviem/11	Diciem/12	27,3	28,4

Tabla 7. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2011

-2012: En este año se observa la finalización de la construcción de tres reactores tipo PWR en Asia, cuya construcción demoró menos de cinco años.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de Inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
NINGDE-I	PWR	1018	Febrero/08	Diciem/12	Abril/13	4,8	5,2
República de Corea							
SHIN-KORI-2	PWR	997	Junio/07	Enero/12	Julio/12	4,7	5,1
SHIN-WOLSONG-I	PWR	997	Noviem/07	Enero/12	Julio/12	4,3	4,7

Tabla 8. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2012

-2013: Se destaca el primer reactor tipo PWR de tecnología rusa modelo VVER V-412 en India (KUDANKULAM-1), cuya construcción duró 11 años y medio.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
HONGYANHE-I	PWR	1061	Agosto/07	Febrero/13	Junio/13	5,6	5,8
HONGYANHE-2	PWR	1061	Marzo/08	Noviem/13	Mayo/14	5,7	6,2
YANGJIANG-I	PWR	1000	Diciem/08	Diciem/13	Marzo/14	5	5,3
India							
KUDANKULAM-I	PWR	932	Marzo/02	Octubre/13	Diciem/14	11,6	12,7

Tabla 9. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2013

-2014: Cinco reactores se conectaron a la red, destacándose la terminación de ATUCHA-2 en Argentina, cuya construcción se inició a principios de la década del 1980, reactivándose la obra a partir del año 2006. El resto de los reactores tipo PWR se construyeron en plazos de entre cinco años y cinco años y medio.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
Argentina							
ATUCHA-2	PHWR	692	Julio/81	Junio/14	Febrero/15	23	23,6
China							
FANGCHEN GGANG-I	PWR	1012	Diciem/10	Julio/16	Octubre/16	5,5	5,8
FUQING-I	PWR	1000	Noviem/08	Agosto/14	Noviem/14	5,4	6
NINGDE-2	PWR	1018	Noviem/08	Enero/14	Mayo/14	5,2	5,6
Rusia							
ROSTOV-3	PWR	950	Septiem/09	Diciem/14	Septiem/15	5,2	6

Tabla 10. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2014

-2015: Se observa el ingreso de nueve reactores tipo PWR a la red, de los cuales ocho de ellos se encuentran en China, con plazos de construcción de entre cinco años y cinco años y medio. Por otra parte, Rusia finaliza la construcción de su segundo FBR en nueve años y medio.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
CHANGJIANG-1	PWR	601	Abril/10	Noviem/15	Diciem/15	5,6	5,7
FANGCHENG GANG-1	PWR	1000	Julio/10	Octub/15	Enero/16	5,3	5,7
FANGJIAYAN-2	PWR	1012	Julio/09	Enero/15	Febrero/15	5,6	5,7
FUQIN-2	PWR	1000	Junio/09	Agosto/15	Octub/15	5,2	5,4
HONGYANHE-3	PWR	1061	Marzo/09	Marzo/15	Agosto/15	5	5,3
NINGDE-3	PWR	1018	Enero/10	Marzo/15	Junio/15	5,2	5,3
YANGJIANG-2	PWR	1000	Junio/09	Marzo/15	Junio/15	4,7	5
YANGJIANG-3	PWR	1000	Noviem/10	Octub/15	Enero/16	4,9	5,2
República de Corea							
SHINWOLSON2	PWR	993	Septiembre/08	Febrero/15	Julio/15	6,6	6,7
Rusia							
BELOYARSK-4	FBR	789	Julio/06	Diciem/15	Octub/16	9,5	10,3

Tabla 11. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2015

-2016: Por segundo año consecutivo se vuelven a instalar en la red diez reactores, todos ellos de tecnología PWR. Se destaca el segundo reactor tipo PWR en India (KUDANKULAM-2) cuya construcción se extendió durante 14 años y medio. Además, se produce la terminación de WATTS-BAR-2 en EE.UU., cuyas obras comenzaron en 1972, se suspendieron en 1985 y, en el año 2007, se tomó la decisión de completar el 45% restante.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de Inicio de la construcción	Año de conexión a la red	Año de comienzo de operación comercial	Tiempo desde el inicio de la construcción (años)	
						Hasta conexión a la red	Hasta operación comercial
China							
CHANGJIANG-2	PWR	601	Noviem/10	Junio/16	Agosto/16	5,7	5,8
FANGCHENG GANG-2	PWR	1000	Diciem/10	Julio/16	Octubre/16	5,5	5,8
FUQING-3	PWR	1000	Diciem/10	Septiem/16	Octubre/16	5,7	5,8
HONGYANHE-4	PWR	1000	Agosto/09	Abril/16	Septiem/16	6,7	7,1
NINGDE-4	PWR	1018	Septiem/10	Marzo/16	Julio/16	5,5	5,8
República de Corea							
SHIN-KORI-3	PWR	1383	Octubre/08	Enero/16	Diciem/16	7,7	8,1
Estados Unidos							
WATTS BAR-2	PWR	1165	Septiem/79	Junio/16	Octub/16	36,8	37,1
India							
KUDANKULAM-2	PWR	917	Julio/02	Agosto/16	Marzo/17	14,1	14,7

Pakistán							
CHASNUPP-3	PWR	315	Mayo/11	Octubre/16	-	5,4	-
Rusia							
NOVOVORONEZH 2-I	PWR	1114	Junio/08	Agosto/16	Febrero/17	8,1	8,7

Tabla 12. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2016

En el mundo existen seis centrales nucleares que habían comenzado a ser construidas y que fueron paralizadas por distintos motivos específicos por cada país. Estas fueron terminadas luego de muchos años (durante la última década) tal como se presenta en la tabla a continuación.

País	Reactor	Años de construcción
Estados Unidos	WATTS BAR-2	37
Irán	BUSHEHR-1	36
Rusia	KALININ-4	27
Rumania	CERNADOVA-2	24
Argentina	ATUCHA-2	23
Rusia	ROSTOV-2	20

Tabla 13. Tiempo de construcción de centrales nucleares conectadas en 2015

Del análisis también surge que, excluyendo los seis reactores antes mencionados cuya construcción tuvo demoras muy prolongadas, más del 72% de los reactores tuvieron un tiempo de construcción menor a seis años y el resto superó dicho periodo, tal como puede observarse en la Figura 3.

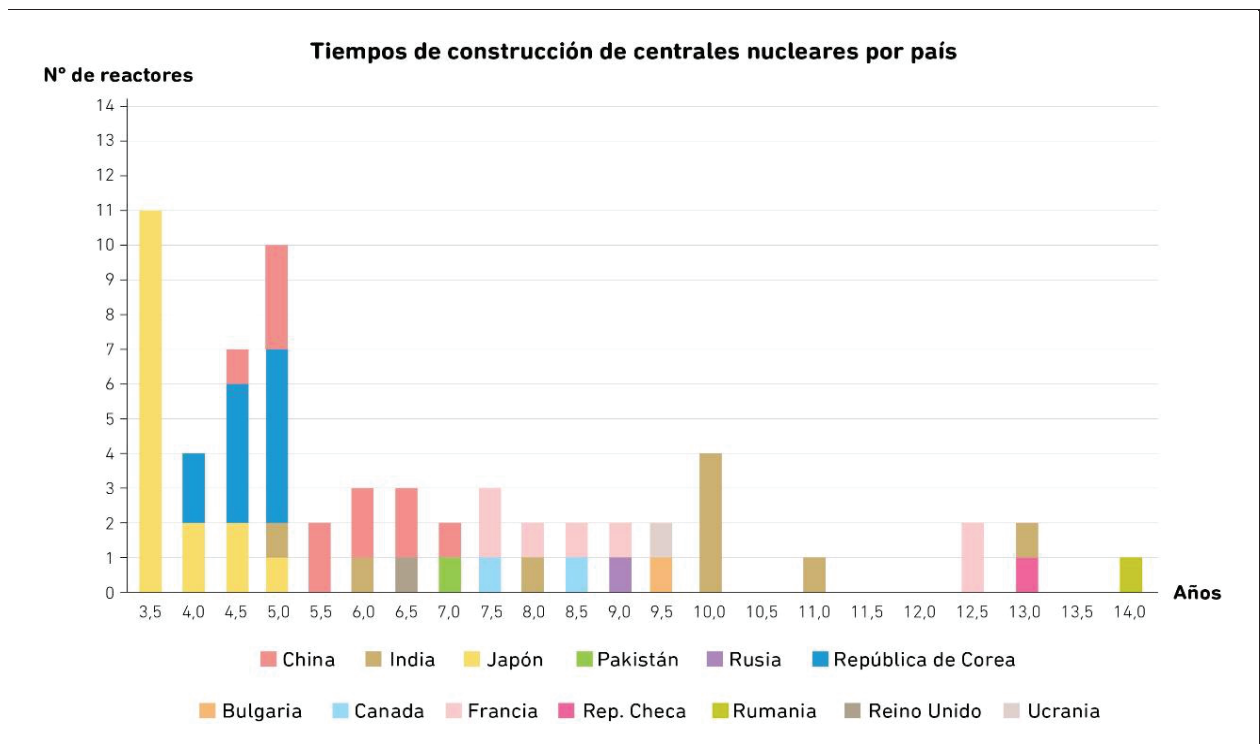


Figura 3. Tiempo de construcción de reactores por país

A partir del análisis de las tecnologías incluidas en las tablas 4 a 12 se concluye lo siguiente:

- BWR: No se interconectaron a la red eléctrica de los respectivos países reactores de este tipo en la última década.
- FBR: Fueron construidos dos reactores de este tipo, uno en China (CEFR) y otro en Rusia (BELOYARSK-4), con tiempos de construcción de aproximadamente nueve años y medio a diez años y medio. En el caso de China fue el primero de su tipo, mientras que para Rusia fue el segundo, teniendo como antecedente el BELOYARSK-3 de 560 MW que comenzó su construcción en 1969 y terminó en 1980.
- PHWR: Se observa que en Rumania finaliza la construcción de CERNAVODA-2 y en Argentina ATUCHA-2. En India se construyeron cuatro reactores, de los cuales KAIGA-3 fue el único cuya construcción insumió cinco años aproximadamente, mientras que los tres restantes requirieron más de siete años (KAIGA-4 y RAJASTHAN-5 y 6).
- PWR: India incursionó en los reactores de este tipo a partir del año 2002, construyendo las centrales KUDANKULAM 1 y 2, finalizando su construcción en los años 2013 y 2016 respectivamente. Además, este país retomó luego la construcción de reactores tipo PHWR. Los restantes reactores PWR fueron construidos en un periodo de tiempo de entre cuatro años y medio y seis años y medio en promedio, salvo tres reactores en Rusia (NOVOVORONEZH 2-1, ROSTOV-2 y KALININ-4), uno en Irán (BUSHEHR-1), uno en EE.UU. (WATTS BAR-2) y por último el SHIN KORI-3 en la República de Corea, que tuvieron un mayor tiempo de construcción.

En la última década se han instalado 49 reactores, de los cuales el 87,8% son del tipo PWR, tal como se presenta en la Figura 4.

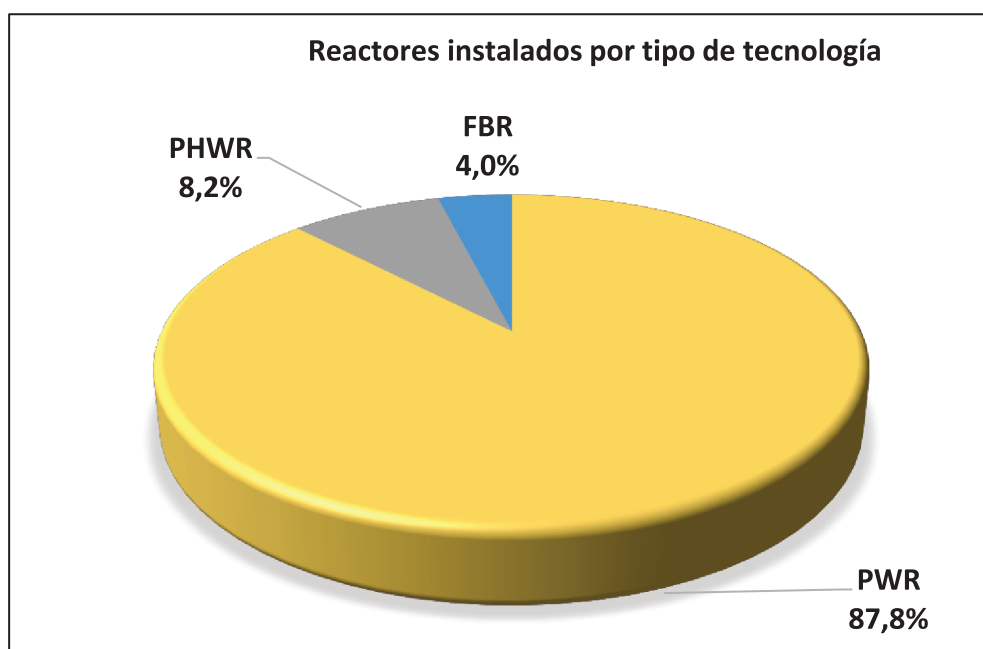


Figura 4. Reactores instalados por tipo de tecnología en la última década

Reactores en construcción

Al 31 de diciembre del año 2016 se encontraban en construcción 61 reactores, totalizando una potencia instalada de 61.264 MW, según se muestra en la tabla a continuación.

Periodo	Cantidad de reactores en construcción en el periodo	Acumulado
Hasta el 2000	6	6
Del 2001 al 2006	2	8
Del 2007 al 2011	22	30
Del 2012 al 2016	31	61

Tabla 14. Cantidad de reactores en construcción

Un 77% de los reactores que están actualmente en construcción iniciaron sus obras después del año 2007. Por otra parte, el 50% del total comenzó a construirse después del año 2012 post Fukushima, que demuestra que la tecnología nuclear está comercialmente activa.

-Reactores que comenzaron su construcción previamente al año 2000: de las seis centrales que comenzaron a construirse en la década de 1980 y fines de 1990, solamente las que se encuentran en Eslovaquia (modelos VVER-V-213) tienen planificadas fechas tentativas para primera criticidad y conexión a la red. El resto no posee aún fecha cierta de terminación y puesta en servicio.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año estimado de conexión a la red
Eslovaquia				
MOCHOVCE-3	PWR	440	Enero/87	Abril/2018
MOCHOVCE-4	PWR	440	Enero/87	Abril/2019
Taiwán				
LUNG MEN-1	BWR	1300	Marzo/99	---
LUNG MEN-2	BWR	1300	Agosto/99	---
Ucrania				
KHMELNITSKI-3	PWR	1035	Marzo/86	---
KHMELNITSKI-4	PWR	1000	Febrero/87	---
TOTAL		5515		

Tabla 15. Reactores que comenzaron su construcción antes del año 2000

- Reactores que comenzaron su construcción entre los años 2001 a 2006: uno de ellos es un reactor finlandés modelo EPR francés, similar al FLAMANVILLE-3 de AREVA (Francia), mientras que el otro corresponde a la India, con la particularidad de ser el primer prototipo FBR en dicho país.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia Neta (MW)	Año de Inicio de la construcción	Año Estimado de Conexión a la red
Finlandia				
OLKILUOTO-3	PWR	1600	Agosto/05	---
India				
PFBR	FBR	470	Octubre/04	----
TOTAL		2070		

Tabla 16. Reactores que comenzaron su construcción entre los años 2001-2006

- Reactores que comenzaron su construcción entre los años 2007 a 2011: se destaca que, entre abril de 2009 y abril de 2010, China inició la construcción de seis nuevas unidades tipo PWR. Un caso similar se registra en India que, entre noviembre del año 2010 y septiembre del año 2011, dio inicio a la construcción de cuatro reactores tipo PHWR.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año estimado de conexión a la red
Brasil				
ANGRA-3	PWR	1245	Junio/10	Diciembre/18
China				
HAYANG-1	PWR	1000	Septiembre/09	---
HAYANG-2	PWR	1000	Junio/10	---
SANMEN-1	PWR	1000	Abril/09	
SANMEN-2	PWR	1000	Diciembre/09	
TAISHAN-1	PWR	1660	Noviembre/09	
TAISHAN-2	PWR	1660	Abril/10	
República de Corea				
SHIN-KORI-4	PWR	1340	Agosto/09	
Francia				
FLAMANVILLE-3	PWR	1630	Diciembre/07	
India				
KAKRAPAR-3	PHWR	630	Noviembre/10	
KAKRAPAR-4	PHWR	630	Noviembre/10	
RAJASTHAN-7	PHWR	630	Julio/11	
RAJASTHAN-8	PHWR	630	Septiembre/11	
Japón				
OHMA	BWR	1328	Mayo/10	
SHIMANE	BWR	1325	Octubre/07	
Pakistán				
CAHSNUPP-4	PWR	315	Diciembre/11	Julio/17
Rusia				
AKADEMIK LOMONOSOV-1	PWR	32	Abril/07	
AKADEMIK LOMONOSOV-2	PWR	32	Abril/07	
LENINGRAD-2-1	PWR	1111	Octubre/08	Diciembre/18
LENINGRAD-2-2	PWR	1111	Abril/10	Diciembre/21
NOVOVORONEZH-2-2	PWR	1114	Julio/09	Diciembre/18
ROSTOV-4	PWR	1011	Junio/10	Diciembre/17
TOTAL		5379		

Tabla 17. Reactores que comenzaron su construcción entre los años 2007/11

- Reactores que comenzaron su construcción entre los años 2012 a 2016: en este periodo se destaca el inicio de construcción de 31 centrales nucleares, 13 de ellas entre noviembre del año 2012 y diciembre del año 2013. Otras diez comenzaron a construirse entre mayo del año 2015 y diciembre del año 2016. Se observa la construcción de 30 reactores tipo PWR y el reactor SHIDAO BY-1 (tipo HTGR) en China, primero en su tipo. Es relevante además el comienzo de la construcción del prototipo CAREM-25 en Argentina.

Por otra parte, los Emiratos Árabes Unidos decidieron construir por primera vez centrales nucleares, con un paquete de cuatro reactores tipo PWR con un inicio de construcción escalonado, a razón de uno por año. Asimismo, EE.UU. comenzó la construcción de a pares en dos sitios distintos, en marzo y noviembre del año 2013 respectivamente como puede observarse en la tabla a continuación.

Central nuclear	Tipo de reactor	Potencia neta (MW)	Año de inicio de la construcción	Año estimado de conexión a la red
Argentina				
CAREM-25	PWR	25	Febrero/14	
Bielorrusia				
BELARUSIAN-1	PWR	1109	Noviembre/13	
BELARUSIAN-2	PWR	1109	Abril/14	
China				
FANGCHENGANG-3	PWR	1000	Diciembre/15	---
FANGCHENGANG-4	PWR	1000	Diciembre/16	---
FUQING-4	PWR	1000	Noviembre/12	
FUQING-5	PWR	1000	Mayo/15	
FUQING-6	PWR	1000	Diciembre/15	
HONGYANHE-5	PWR	1061	Marzo/15	
HONGYANHE-6	PWR	1061	Julio/15	
SHIDAO BY-1	HTGR	200	Diciembre/12	
TIANWAN-3	PWR	990	Diciembre/12	
TIANWAN-4	PWR	990	Septiembre/13	
TIANWAN-5	PWR	1000	Diciembre/15	
TIANWAN-6	PWR	1000	Septiembre/16	
YANGJIANG-4	PWR	1000	Noviembre/12	Enero/17*
YANGJIANG-5	PWR	1000	Septiembre/13	
YANGJIANG-6	PWR	1000	Diciembre/13	
República de Corea				
SHIN-HANUL-1	PWR	1340	Julio/12	
SHIN-HANUL-2	PWR	1340	Junio/13	
Emiratos Árabes Unidos				
BARAKAH-1	PWR	1345	Julio/12	
BARAKAH-2	PWR	1345	Abril/13	
BARAKAH-3	PWR	1345	Septiembre/14	
BARAKAH-4	PWR	1345	Julio/15	
Estados Unidos				
SUMMER-2	PWR	1117	Marzo/13	
SUMMER-3	PWR	1117	Noviembre/13	
VOGTLE-3	PWR	1117	Marzo/13	
VOGTLE-4	PWR	1117	Noviembre/13	
Pakistán				
KANUPP-2	PWR	1014	Agosto/15	Julio/20
KANUPP-3	PWR	1014	Mayo/16	
Rusia				
BALTIK-1	PWR	1109	Febrero/12	Diciembre/18
TOTAL		32202		

Tabla 18. Reactores que comenzaron su construcción entre los años 2012 a 2016

*Nota: el reactor comenzó a operar el 8 de enero del 2017.

Del análisis por tecnología de las tablas 15 a 18 en los últimos 17 años, se observa lo siguiente:

- BWR: comenzó en Japón la construcción de dos reactores previo al accidente de Fukushima.
- FBR: se construye una sola unidad en India.
- HTGR: un único reactor se construye en China.
- PHWR: comienza la construcción de cuatro reactores en India.

- PWR: se destaca el comienzo de la construcción de 47 reactores de este tipo con un fuerte predominio de esta tecnología sobre las restantes.

En resumen, en todo el mundo está en construcción una cantidad de reactores tal que representa un total de 45.166 MW, de los cuales el 86,9% son de tecnología tipo PWR, tal como se observa en la Figura 5.

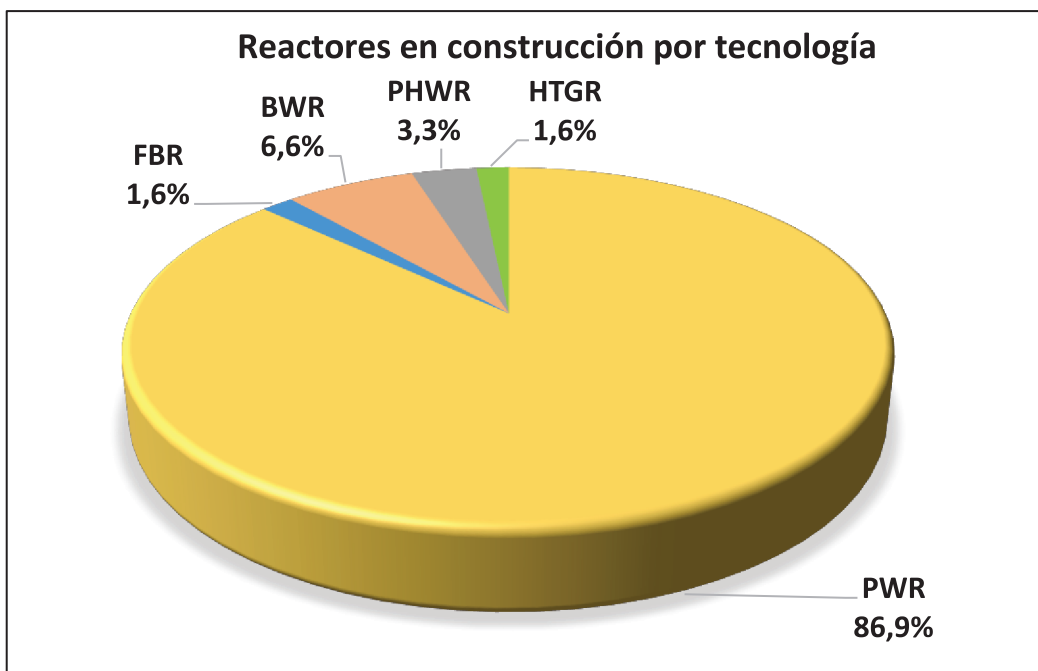


Figura 5. Reactores en construcción por tecnología

- Estimaciones realizadas por el OIEA

Este organismo realiza periódicamente estimaciones a largo plazo con respecto a nuevas incorporaciones de centrales nucleares en función de la planificación de cada uno de los países miembros, que están agrupados geográficamente con dos escenarios: uno de “bajas” y otro de “altas” expectativas, como puede observarse en la Figura 6.

Estimaciones con “bajas” expectativas: En este escenario se considera que se mantienen las barreras actuales para la energía nuclear (bajo crecimiento de la participación, opinión pública desfavorable, impedimentos institucionales y financieros).

Estimaciones con “altas” expectativas: este escenario contempla un incremento de la potencia nuclear instalada a nivel mundial motivado por razones económicas (disponibilidad, seguridad, precios), sociales y ambientales frente a las otras formas de generación de energía eléctrica (cambio climático, contaminación atmosférica regional).

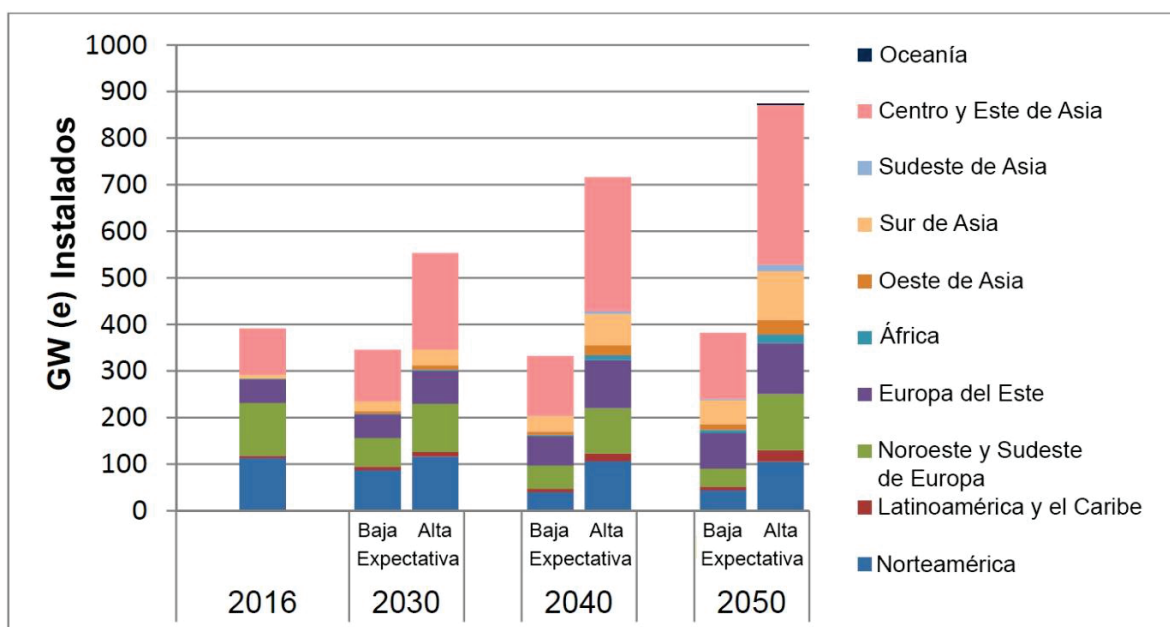


Figura 6. Estimaciones del OIEA

Teniendo en cuenta la edad y la cantidad de reactores que superan los 40 años, los nuevos reactores en construcción que estarían instalados antes del año 2030 y aquellos reactores planificados a futuro, resulta que, para el fin del periodo evaluado, la potencia total instalada tenderá a la indicada en el escenario de “Alta Expectativa”.

Comentarios finales

Dado que en Argentina no se contempla incursionar en la tecnología tipo BWR, solo cinco países tienen hoy la capacidad de diseño y construcción de centrales nucleares de potencia: China (PHWR y PWR), República de Corea (PHWR y PWR), EE.UU. (PWR), Francia (PWR) y Rusia (PWR).

En particular, China se está convirtiendo rápidamente en un país autosuficiente en el diseño y construcción de centrales nucleares, como así también en las distintas etapas del ciclo de combustible nuclear. Actualmente el país tiene 37 reactores en operación y otros 21 en construcción, de los cuales 20 de ellos son de tecnología PWR. Esto posiciona al país como un fuerte proveedor de tecnología nucleoelectrónica a nivel internacional. En el mediano plazo (de unos diez a doce años), se convertirá en el país con mayor cantidad de centrales nucleares, momento en el que operará alrededor de 110 centrales.

En mayo del año 2017, Nucleoelectrónica Argentina, empresa del Estado Argentino que opera las centrales nucleares, suscribió en Beijing, capital de la República Popular China, el contrato general para la construcción de la IV y V centrales nucleares argentinas, con China National Nuclear Corporation (CNNC) y China Zhongyuan Engineering Corporation (CZEC).

La cuarta central sería de tecnología PHWR de 740 MW tipo CANDU y la quinta central de tecnología PWR tipo Hualong Uno/HPR1000 de 1150 MW, con una vida útil de 60 años. Esta decisión estuvo fundamentada luego de un exhaustivo análisis de las tecnologías disponibles que tomó varios años. La evaluación de las condiciones técnicas, económicas y financieras dieron como resultado que la tecnología china fuera la más conveniente.

Si bien el diseño del reactor CAREM-25 es de tecnología PWR, éste es de baja potencia, por lo que la quinta central tendría el primer reactor de potencia de dicha tecnología.

Se preveía el comienzo de la construcción de la cuarta central para el año 2018, y la de la quinta en el año 2020, con tiempos de construcción estimados de entre siete y cinco años respectivamente.

A 50 años de la puesta en marcha de la Planta Experimental de Reprocesamiento PR I

Quilici Domingo y Venturini Néstor – Ex integrantes del Departamento de Reprocesamiento de la Comisión Nacional de Energía Atómica

Introducción

El 6 julio de 1968 se puso en marcha la Planta Experimental de Reprocesamiento PR 1. Estaba a cargo del Departamento de Reprocesamiento de la entonces Gerencia de Energía de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

Este evento tiene un significado especial en la historia de la CNEA.

La decisión de desarrollar esta planta experimental – tomada en el año 1962 - su construcción, su operación y sus posteriores resultados, demuestran el carácter estratégico de la planificación de las actividades de la Institución, que apuntaba al desarrollo autónomo del país en actividades claves, en este caso la producción masiva de energía eléctrica. La PR-1 demostró que lo importante era la decisión. La CNEA, a pesar de que habían pasado solo 12 años desde su fundación, contó con los medios para concretar el proyecto.

En 1962, reprocesar combustibles irradiados con “fines pacíficos” sólo se había concretado en poquísimos países del mundo. En América Latina, la Argentina fue el primero.

La PR1 no estaba inscripta en un cronograma que estableciera cuando llegar a contar con la capacidad de su uso industrial. Fue una decisión que tenía como objetivo crear conocimiento. Ya la CNEA, desde el año 1955, había hecho público que Argentina debería instalar centrales nucleares de potencia². El desarrollo de los reactores electronucleares demostró que esta tecnología – el reprocesamiento - tendría importancia en lo que se llamó el “ciclo de combustible”. Era, el reprocesamiento, el eslabón para cerrar dicho ciclo, lo que significaba un notable aumento de la eficiencia en la producción electro nuclear.

Para concretar el proyecto hubo que hacer investigación básica y aplicada, desarrollar tecnología, construir una instalación que no tenía precedentes en el país y, además, operar con material irradiado bajo normas estrictas de protección radiológica. Los diseñadores recurrieron a métodos innovativos para construir íntegramente una planta experimental con sólo los recursos de la CNEA. Con la operación de esta planta se adquiría el conocimiento para hacer el cambio de escala hacia una planta piloto de producción.

Este proyecto tuvo otro merito: aprovechar los contactos internacionales que la CNEA había establecido con los países a la vanguardia de la actividad nuclear y hacer uso de las posibilidades de transferencia de conocimiento que estaban en la base del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Como se verá más adelante, participaron expertos internacionales en el proyecto.

Naturalmente, el desarrollo de recursos humanos fue otro de los logros de la concreción de la PR 1. El conocimiento adquirido fue utilizado en otros proyectos que posteriormente concretó la CNEA.

50 Years since the Start-up of the Experimental Reprocessing Plant

The Experimental Reprocessing Plant (PR 1) was launched on July 6th, 1968. This is a meaningful event in the history of CNEA.

The decision taken in 1962 to develop this pilot plant, its construction, operation and subsequent results show the strategic nature of CNEA to plan all its activities -aimed at developing key activities in an autonomous way- in this case, the mass production of electric power.

The PR 1 showed that what matters is the decision. CNEA, only 12 years after its creation, made it possible. Until 1962, reprocessing irradiated fuel for “peaceful uses” had only been possible in few countries. In fact, Argentina was the first country in Latin America to develop this technology.

The PR 1 was uncertain in terms of when it would reach capacity for industrial use. It was a decision taken with the only aim of gaining knowledge. Actually, by 1955, CNEA had already made public that Argentina should install nuclear power plants. The development of nuclear power reactors showed that this technology -reprocessing- would be significant in what is called “the fuel cycle”. Reprocessing was the link to close this cycle, making production of nuclear electricity far more efficient. To conduct the project, it was necessary to do basic and applied research, to develop technology to build a plant that was unprecedented in the country and, in addition, to operate with material irradiated under strict standards of

¹ El origen del reprocesamiento es militar. Reprocesaban solo los países que tenían armas nucleares.

² Las centrales nucleares de potencia son las que generan electricidad como Atucha I y II y Embalse.

radiation protection. Designers used innovative methods to build a pilot plant, working only with CNEA resources. Once in operation, the knowledge to build a pilot production plant has been acquired.

Another achievement of the project was to take advantage of the relationships CNEA had established with other “nuclear countries”, using knowledge transfer from the International Atomic Energy Agency (IAEA). As it will be seen later, there were also international experts participating in the project.

Naturally, the development of human resources was another great achievement within the PR 1 project.

The knowledge acquired was used in later projects carried out by CNEA.

Situación internación de los asuntos nucleares en la década de los '50

La clasificación de la información de la tecnología nuclear se fue modificando, luego del ingreso de la ex Unión Soviética al grupo de países que disponían de armas nucleares. Se planteó entonces la posibilidad de una competencia comercial entre dicho país y los Estados Unidos para vender esta tecnología a otros países. Con este propósito, en 1953 Estados Unidos dio a conocer su “Programa de Átomos para la Paz”.

El hecho más importante en la desclasificación de la información fue la realización de la “Conferencia para Usos Pacíficos de la Energía Nuclear” que tuvo lugar en Ginebra en el mes de agosto del año 1955. Durante el desarrollo de la conferencia se decide la creación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Argentina, a través de la CNEA, tuvo una activa participación en la conferencia, demostrando el nivel alcanzado en la materia.

La información dada a conocer en este importante evento quedó registrada en las actas respectivas, publicadas al año siguiente.

Actividades iniciales de la Comisión Nacional de Energía Atómica

La minería del uranio fue la primera actividad organizada en el tema nuclear, aun antes de la creación de la CNEA. En esta primera etapa, que se extiende de 1950 a 1958, se toman las decisiones que llevan a organizar los primeros grupos de trabajo en investigación y desarrollo, capacitando al personal en laboratorios especializados de países más adelantados.

Para cumplir con este objetivo, fue prioritaria la formación de personal en las áreas de radioquímica y física nuclear. Con este propósito se contrata al profesor W. Seelmann Eggbert (investigador alemán de prestigio

internacional). Contando con modernos equipamientos - un “acelerador en cascada” y un “sincrociclotrón” – y profesionales jóvenes y entusiastas, se logra el descubrimiento de una veintena de nuevos radioisótopos, lo que hizo de este grupo - conocido como “Grupo Buenos Aires”- uno de los equipos radioquímicos más respetados internacionalmente. El Grupo Buenos Aires tuvo una presencia destacada durante la citada “Conferencia para Usos Pacíficos de la Energía Nuclear”.

Estas actividades iniciaron la producción de radioisótopos³ en el sincrociclotrón y, hacia el año 1958, su consolidación con la operación del reactor de investigación RA-1.

El RA-1 fue otro hito histórico en la creación de conocimiento en la CNEA. Este reactor de investigación fue construido en el país, incluido sus elementos combustibles.

Además, también en esta etapa, se desarrolla la capacidad en radio protección y seguridad nuclear. Este conocimiento y su aplicación en las tareas descriptas más arriba llevan a la creación de la respectiva gerencia.

En el “Grupo Buenos Aires” se formó el que luego sería el jefe del Departamento de Reprocesamiento de la Gerencia de Energía.

La importancia del reprocesamiento en la industria núcleo eléctrica

Para entonces resultaba clara la estrategia de la CNEA de dominar todas las etapas del **ciclo de combustible nuclear**.

Este eficiente criterio del manejo de los combustibles nucleares, en la fase comercial de la nucleoelectricidad, dio origen a lo que se denominó: **cerrar el ciclo de combustible nuclear**.

³ Los radioisótopos tienen diversas aplicaciones, como la investigación y desarrollo, la medicina, y actividades industriales, entre otras.

EL CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

Ciclo de Combustible Nuclear

Se llama así a las etapas que recorre el uranio desde la mina hasta su disposición final. Daremos una versión simplificada.

El uranio extraído de la mina sufre una serie de procesos para concentrarlo y purificarlo hasta llevarlo a una pureza “grado nuclear”. Este uranio luego es “enriquecido”⁴. El uranio enriquecido es el que se utiliza para ser incorporado dentro de los “elementos combustibles”. Los elementos combustibles alimentan el reactor. Parte del uranio se consume (se fisiona) desprendiendo la energía que luego se convertirá en electricidad.

Los elementos combustibles “quemados” - los que se retiran del reactor - son almacenados en una “pileta de enfriamiento” que es parte de la Central Nuclear. Esta operación se realiza para que “decaiga la actividad” del combustible, de manera de facilitar su posterior manipuleo. Transcurrido un tiempo técnicamente adecuado, se debe tomar la decisión entre almacenar definitivamente el combustible quemado, o procesarlo para “**cerrar el ciclo**”.

La etapa necesaria para cerrar el ciclo de combustible es el **reprocesamiento**.

¿Qué es reprocesar?

El combustible quemado se transporta de la central a la planta de reprocesamiento. En esta planta – el combustible – es sometido a procesos mecánicos y químicos. Esquemáticamente, en ella se separan tres corrientes: una, conteniendo el uranio no quemado en el reactor. La segunda, conteniendo el plutonio formado dentro del reactor debido a “reacciones neutrónicas”. La tercera, conteniendo los “residuos radiactivos”. Los residuos radiactivos son los productos de fisión del uranio.

¿Qué se entiende por cerrar el ciclo de combustible?

La reutilización del uranio recuperado y “descontaminado” – proveniente de la planta de reprocesamiento - podrá alimentar una planta de “enriquecimiento”, para luego formar parte de nuevos elementos combustibles, disminuyendo la demanda de uranio mineral.

El plutonio se utilizará para fabricar elementos combustibles del tipo “óxidos mixtos” (mezcla de uranio con plutonio) lo que aumentará la eficiencia energética del reactor. Esta es otra forma de reducir la demanda de mineral de uranio.

Además, existe la opción de almacenar el plutonio para utilizarlo como combustibles de una nueva generación de reactores, los “reproductores rápidos”. Por otra parte, el reprocesamiento permite la concentración y confinamiento de los productos de fisión para disponerlos definitivamente en zonas geológicamente estables.

Creación del Programa de Reprocesamiento

En el año 1962 se decide la creación del programa, estableciéndose como su objetivo fundamental crear conocimiento. La herramienta fue la instalación y funcionamiento de una Planta Experimental de Reprocesamiento de elementos combustibles irradiados, para recuperar uranio y plutonio.

Se estableció, como paso inicial, el reprocesamiento del primer núcleo del reactor de investigación RA-1, que estaba constituido por 120 elementos combustibles de óxido de uranio enriquecido inicialmente al 20% en U235, encamisados en aluminio.

Ubicación de la PR 1

El sitio elegido para la instalación de la PR-1 fue el de la ex planta de uranio metálico, ubicada en lo que es hoy el Centro Atómico de Ezeiza.

Los cambios tecnológicos ocurridos en materia de combustibles para los reactores de centrales nucleares indicaron que el uranio metálico se había sustituido por óxido de uranio. De acuerdo con esta realidad, la CNEA decidió el cierre definitivo de la referida planta de uranio metálico en el año 1960.

Condiciones importantes para decidir la ubicación de una planta de reprocesamiento se cumplían en el lugar

⁴ Cuando se decide la creación del Departamento de Reprocesamiento (1962) las expectativas para las centrales nucleares futuras apuntaban a los “reactores de uranio enriquecido”. Luego, cuando se compra la primera central, por razones estratégicas, económicas y de financiación, se opta por la línea de “reactores a uranio natural” donde el uranio que usa no es enriquecido.

donde había funcionado la referida planta. En junio de 1966, la Gerencia de Materias Primas – de la que dependía la planta – comienza el desmantelamiento de las instalaciones.

Quedaba así disponible un núcleo de edificios que contaba con espacios cerrados de importante altura, zonas de depósitos, laboratorios, oficinas administrativas, talleres equipados, vestuarios e instalaciones sanitarias.

Dentro del predio, adyacente a estas instalaciones, se encontraba la usina eléctrica y también tanques de agua elevados.

La infraestructura existente en el sitio donde se ubicó la PR 1 permitió reducir las obras civiles y acortar los tiempos de ejecución del proyecto, así como el monto de la inversión.

El proyecto PR 1

El desarrollo del proyecto implicó la participación de profesionales experimentados en otras aéreas de la actividad nuclear, así como de técnicos y operarios, algunos con experiencia y otros como su primer trabajo. El proyecto se llevó a cabo basándose en la experiencia profesional de los participantes y disponiendo, además, de la información indicada en las actas de la mencionada “Conferencia para Usos Pacíficos de la Energía Nuclear” de Ginebra.

La ingeniería y la construcción civil y del equipamiento, así como la instrumentación, se realizaron con la única participación del personal del Departamento de Reprocesamiento, con alguna colaboración de talleres de la CNEA.

Se pusieron a punto todas las técnicas analíticas para realizar el control de cada una de las etapas operativas que se habían determinado durante la prueba en frío. Las mediciones vinculadas a la seguridad radiológica, la actividad de los efluentes y la calidad del producto, fueron especificadas conjuntamente con la Gerencia de Radio Protección y Seguridad Nuclear.

Los equipos de la planta se ubicaron dentro una celda que garantizaba la protección radiológica de los operadores. La celda estaba construida en hormigón - con una altura de 2,50 metros, 30 centímetros de espesor de pared, un ancho de 2 metros y un largo aproximado de 18 m - que contenía toda la instalación.

La característica operativa de la planta era que todas etapas del proceso se realizaban en forma remota, debido a la radiación de las soluciones procesadas. La transferencia de las soluciones era efectuada por medios de depresión para evitar la presencia de equipos mecánicos en las zonas activas.

Delante de la celda se encontraba una pileta de enfriamiento, con los 120 elementos combustibles del reactor RA-1. La pileta estaba bajo el nivel del piso.

En el primer tramo de la celda se ubicaba el

disolvedor, donde los combustibles depositados en la pileta ingresaban mediante el uso de una tele manipuladora. Desde este punto - o sea cuando los elementos combustibles eran disueltos - el reprocesamiento se transformaba en un proceso en fase líquida.

En el primer ciclo de extracción se separaban el uranio y el plutonio de los productos de fisión. Éstos se convertían en la corriente de residuos radiactivos, que se almacenaban en tanque subterráneos construidos “ad hoc”, fuera del recinto de la plana.

En el segundo ciclo de extracción se separaban el uranio del plutonio. El uranio descontaminado, ya fuera de la celda, era precipitado, filtrado y calcinado para obtener U₃O₈.

La solución que contenía el plutonio era trasferida a una “caja de guantes” para fijarlo en una resina de intercambio iónico. Este proceso tenía como objetivo aumentar la concentración del plutonio disuelto.

Se pudo hacer una evaluación económica del proyecto, incluyendo los salarios del personal y el costo de la planta, hasta la iniciación de su ciclo operativo; esta inversión fue de 30.000 dólares del año 1968, financiados por caja chica, ya que el Departamento de Reprocesamiento no disponía de presupuesto.

Operación de la PR-1

El comienzo del ciclo operativo tuvo lugar el 6 de julio de 1968 (ver figura 1) y finalizó en marzo de 1970 (ver Figura 2).

Hay que considerar que la operación de una planta con procesos mecánico y químicos de elementos radiactivos no contaba con antecedentes en el país. Sin embargo, la PR1 operó de acuerdo a su manual y sin inconvenientes para sus operadores.

Los laboratorios de control analítico operaron respetando las técnicas puestas a punto durante los ensayos en frío. Los análisis radiológicos permitieron la operación segura de la planta y la determinación de la calidad del producto.

La planta recuperó 12 Kg de uranio y 450 mg de plutonio. El uranio recuperado en la PR1 se utilizó para fabricar nuevos elementos combustibles para el reactor RA-1. Al plutonio se lo trasladó a los laboratorios que posteriormente serían la Facilidad Alfa.

Esta fue la única vez que la CNEA recuperó plutonio de elementos combustibles irradiados.

Se logró así, por primera vez, **cerrar experimentalmente el ciclo de combustible nuclear**.

Cabe destacar la camaradería y solidaridad existente entre todos los miembros del personal, independientemente de sus funciones, lo que constituyó uno de los instrumentos del éxito de todo el desarrollo del proyecto.

En el Anexo I se adjunta la lista del personal – por orden alfabético - del Departamento de Reprocesamiento

de la CNEA interviniente en el Proyecto, en reconocimiento por las tareas realizadas durante el desarrollo del mismo y la operación de la planta PR I.

Participación del Organismo Internacional de Energía Atómica

Antes de iniciar las operaciones de la PR 1 llegó para participar en la puesta a punto de la planta un experto inglés en el tema, por intermedio del Organismo Internacional de Energía Atómica. El experto (W.D. Lamarck) fue invitado por su experiencia en las plantas de reprocesamiento del Reino Unido. También colaboró en las propuestas para el futuro reprocesamiento en la Argentina.

Conclusión

Con ideas claras, compromiso colectivo y aun con pocos recursos resulta posible obtener resultados concretos.

Anexo I - Listado del personal del Departamento de Reprocesamiento de la CNEA

Bordazahar J.
Bratt A.
Briga A.
Cristallini O.
Dupetit G.
Flejenheimer J.
Gallelli J.
Guglielmelli J.
Kaufmann F.
Helzel Garcia I.
Lannes E.
Marotto A.
Morazzo S.
Sergo Anich J.
Toth K.
Torreiro G.
Venturini N.

Foto 1 – Registro del comienzo de operación de la Planta Experimental de Reprocesamiento

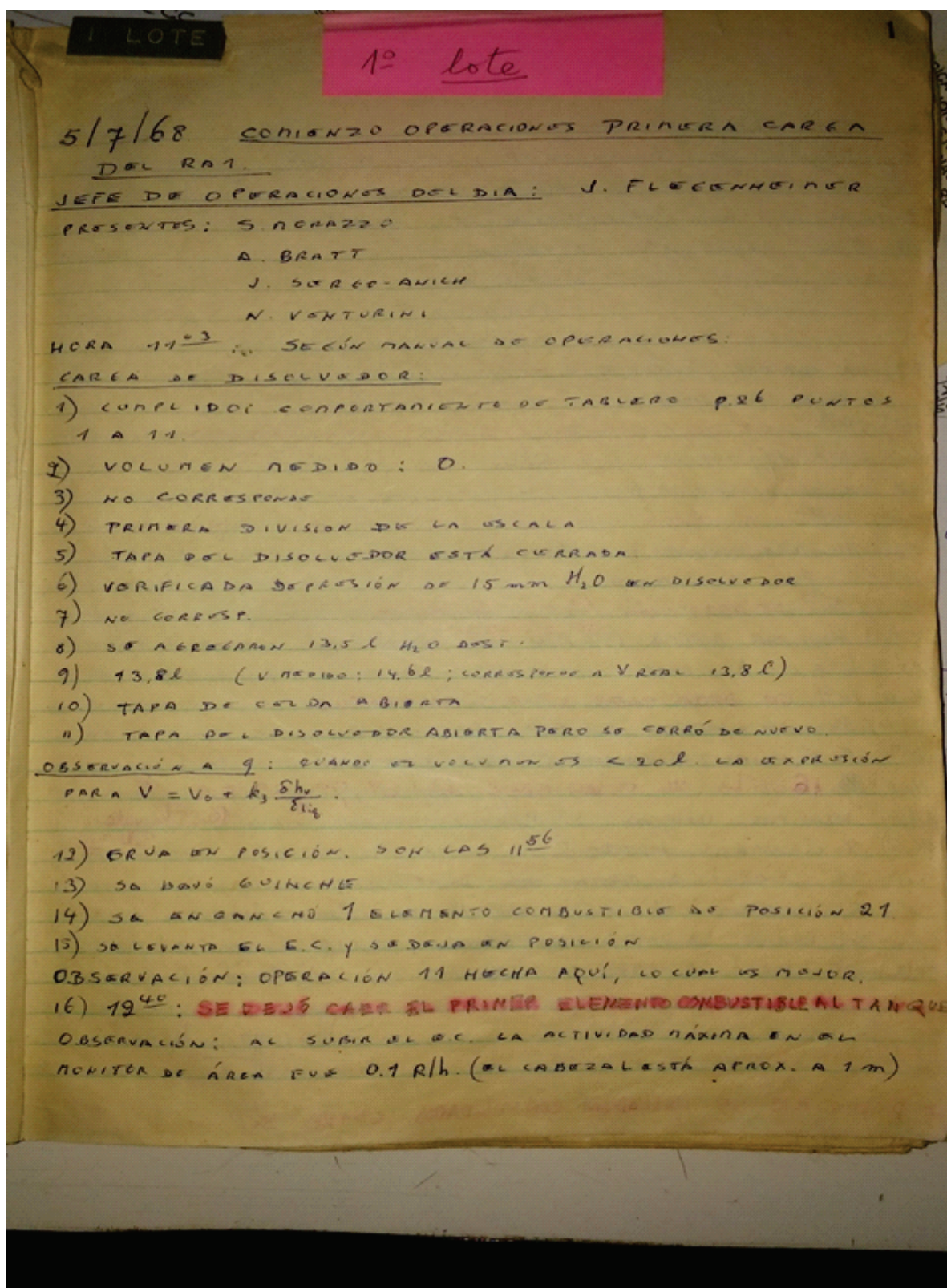
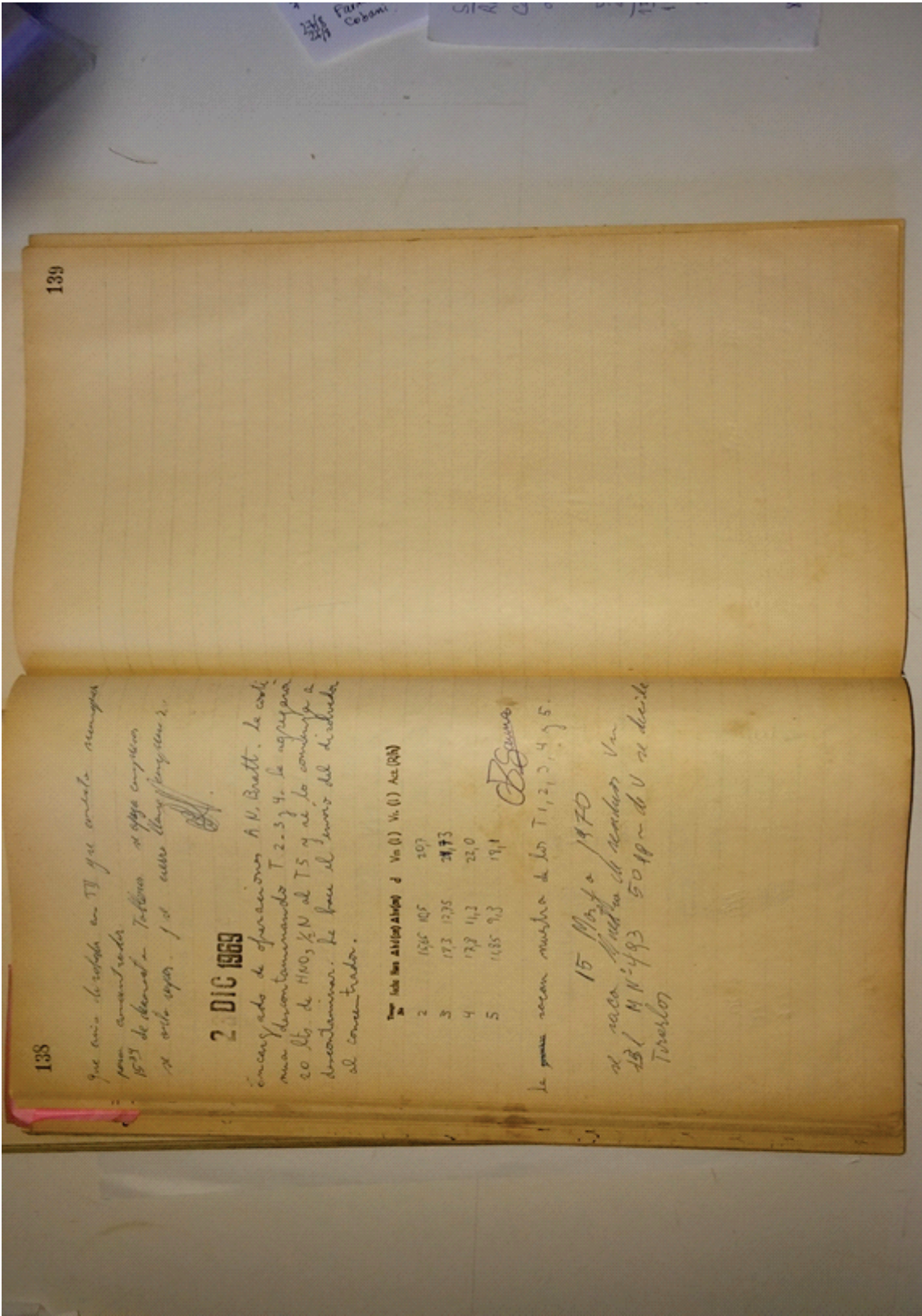


Foto 1 – Registro del final de operación de la Planta Experimental de Reprocesamiento PR 1



CNEA AL DÍA

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Se completó la fabricación de las piletas principales del RA-10

La empresa metalúrgica Secin S.A. concluyó la piletta del rector y la piletta de servicios del reactor nuclear multipropósito RA-10 que la CNEA construye en el Centro Atómico Ezeiza.

El presidente de la CNEA junto a autoridades de la Subsecretaría de Energía Nuclear e Invap visitaron las instalaciones de la empresa metalúrgica Secin S.A., en Quilmes, provincia de Buenos Aires, donde se concretó este nuevo hito.

La piletta es uno de los componentes fundamentales de este reactor, dado que alojará el núcleo de componentes conformado por los elementos combustibles, las barras de control y demás dispositivos que lo constituyen. Por su parte, la piletta de servicios constituirá el recinto que permitirá aprovechar sus distintas funcionalidades.

Durante la recorrida por las instalaciones de la empresa, el presidente de la CNEA felicitó a los profesionales y técnicos de Secin, de Invap y de la CNEA por el resultado del trabajo realizado, que confirma que Argentina tiene la capacidad real para diseñar, fabricar y poner en funcionamiento reactores nucleares como lo viene haciendo desde la construcción del RA-1, en 1958.

Al realizar la entrega simbólica de este componente vital del RA-10, el presidente de Secin S.A. valoró la exitosa interacción público-privada que se dio entre la CNEA, Invap y la empresa, y auguró la continuidad de este tipo de proyectos que consolidan la especialización alcanzada a través de experiencias de trabajo en conjunto.

El proyecto RA-10 lleva adelante el diseño, construcción, montaje y operación de un reactor nuclear multipropósito que tiene como objetivo la provisión de radioisótopos de uso médico e industrial, a la vez que brindar capacidades nucleares para la investigación científica.

La piletta del reactor –que equivale a la vasija de presión si se tratase de un reactor de potencia– es un componente estratégico porque alojará el núcleo del RA-10. Posee 14 metros de altura por 4,5 metros de ancho. A sus costados están los distintos cilindros que serán acoplados a las tuberías que permitirán su funcionamiento.

Para su montaje las pilettas serán trasladadas en una sola pieza desde la planta industrial de Secin hasta el Centro Atómico Ezeiza, en el mes de septiembre. Se espera que este componente supere una vida útil de 60 años.

Una vez que esté funcionando, el RA-10 asegurará el abastecimiento de radioisótopos para uso médico a nivel nacional y tendrá capacidad para exportar al mercado mundial. Esto generará un impacto estratégico para nuestro país en áreas de salud, ciencia, investigación aplicada, desarrollo tecnológico y servicios.

Junto a las instalaciones del reactor funcionará el Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones (LAHN), donde se formará a profesionales y técnicos a fin de alcanzar capacidades de investigación en ciencias básicas y aplicaciones tecnológicas que contribuyan a la conformación de un polo regional de ciencia y tecnología.

Convenio con Santa Cruz por el Centro de Medicina Nuclear

El Presidente de la CNEA participó de la firma del “Acuerdo específico de asistencia tecnológica y capacitación en el campo de las aplicaciones nucleares asociadas a la salud”, con la gobernadora de Santa Cruz, que permitirá desarrollar la puesta en marcha e inicio de la operación de las instalaciones del nuevo Centro de Medicina Nuclear y Radioterapia de la Patagonia Austral ubicado en la ciudad de Río Gallegos. También se convino la capacitación del personal y proveer los radiofármacos necesarios para los estudios de medicina nuclear y radioterapia.

El Centro ya tiene instalado todo su equipamiento y solo falta dar comienzo a la puesta en marcha, etapa en la que la CNEA participará para capacitar al plantel que lo va a operar, a la vez que colaborará con personal que ya está capacitado para estandarizar el nivel de las prestaciones con los parámetros nacionales.

La acción coordinada y en conjunto entre la CNEA y la Provincia de Santa Cruz también incluye fomentar actividades en investigación, desarrollo e innovación en las áreas de radioterapia, diagnóstico por imágenes y medicina nuclear.

El Centro será administrado por una fundación que deberá ser creada por la provincia de Santa Cruz. Durante la vigencia del acuerdo –que regirá por 5 años– la CNEA aportará su conocimiento y experiencia en el campo de la medicina nuclear.

Se completa la llegada de equipos para el turbogenerador del CAREM

Ante la presencia de autoridades del sector nuclear se recibieron, en el Complejo Nuclear Atucha de Lima, provincia de Buenos Aires, componentes fundamentales del sistema de generación eléctrica del primer reactor nuclear de potencia de diseño 100% argentino. El arribo de los últimos componentes que conformarán el Balance de Planta (BOP) – conjunto de instalaciones y equipos necesarios para la generación eléctrica – del prototipo CAREM25, establece un verdadero hito en el proyecto que lleva adelante la CNEA. En el acto - realizado el martes 15 de mayo en el citado Complejo Nuclear - estuvieron presentes el Subsecretario de Energía Nuclear y el presidente de la CNEA, entre otras autoridades del sector nuclear, autoridades de la empresa NA-SA y de la firma TECNA, y representantes de la empresa Siemens Argentina, ambas involucradas en las obras del BOP.

La turbina, el generador eléctrico y el resto de los equipos que forman parte del BOP serán instalados dentro del edificio del turbogruppo, actualmente en construcción junto al del propio reactor. El BOP fue adjudicado en agosto de 2016 a la empresa TECNA, contratación que bajo la modalidad “llave en mano” abarca toda la isla convencional y el circuito terciario, además de la planta de desmineralización y la caldera auxiliar.

La turbina fue fabricada por Siemens (subcontratista de TECNA), en las instalaciones que la empresa posee en Alemania. Allí también se llevaron adelante entre diciembre y enero últimos las estrictas pruebas en las cuales se verificó exitosamente que las partes rotativas soportan las condiciones de operación sin producir daños a sus componentes.

El CAREM 25 es el primer reactor nuclear de potencia íntegramente diseñado y construido en la Argentina. Con su construcción, la industria nuclear nacional reafirma su capacidad para el desarrollo y puesta en marcha de centrales nucleares. A la vez se posiciona como uno de los líderes mundiales en el segmento de reactores modulares de baja y media potencia.

En 2014 la CNEA puso en marcha la construcción civil del edificio del primer prototipo de este reactor de baja potencia (32 MW eléctricos), con capacidad para satisfacer las necesidades energéticas de una ciudad de 120 mil habitantes. Asimismo, este reactor nuclear tipo PRW podrá destinarse a otros usos como la generación de energía en parques industriales, la provisión de vapor para uso industrial, el abastecimiento energético de plantas de desalinización de agua de mar o la explotación hidrocarburífera o minera en locaciones remotas, entre otros fines.

En CNEA desarrollan un viscosímetro para detectar una patología en bebés

Fue desarrollado por físicos del Centro Atómico Bariloche y el Instituto Balseiro. Con tan solo una gota de sangre, este dispositivo de bajo costo permite diagnosticar la policitemia neonatal en pocos minutos.

La viscosidad sanguínea es uno de los parámetros más relevantes para evaluar complicaciones en el sistema cardiovascular de un paciente, puntualmente en aquellos con problemas de coagulación sanguínea o falta de irrigación de tejidos. También puede usarse para realizar mediciones de la sangre en bebés recién nacidos para el diagnóstico de la policitemia neonatal, una enfermedad que se produce cuando existe un alto nivel de glóbulos rojos, lo que contribuye con la hiperviscosidad de la sangre.

Para detectar esta patología que puede bloquear el flujo sanguíneo en los capilares más pequeños de los recién nacidos, afectando órganos como riñones, los pulmones y el cerebro, desarrollaron un sensor capaz de medir la viscosidad de la sangre utilizando técnicas de microfabricación.

Actualmente no existe otro método de diagnóstico para esta patología. Hoy el análisis de viscosidad se hace en muy pocos laboratorios del mundo y demora varios días, tiempo durante el cual la enfermedad va evolucionando. En cambio, este dispositivo podría estar disponible en las salas de neonatología y, con solo una gota de sangre, dar el resultado en un minuto y medio, acelerando el diagnóstico.

El dispositivo consiste en un sensor y un pequeño chip (de 1 cm por 1 cm) desarrollado con tecnologías de microfabricación equivalentes a las de la industria electrónica. El chip se coloca en una ranura del microviscosímetro, se deposita una gota de sangre allí y ésta comienza a fluir a través de pequeños canales embebidos en él. Un sensor óptico integrado analiza automáticamente el movimiento del líquido y dos minutos después se presenta en pantalla el valor de la viscosidad.

Los primeros prototipos del chip se realizaron en la Sala Limpia del Instituto de Nanociencia y Nanotecnología del Centro Atómico Bariloche. Actualmente este desarrollo está siendo transferido a una empresa de base tecnológica que podrá producirlo en serie y también se está trabajando para avanzar con las pruebas clínicas.

La CNEA provee antenas radar para las misiones satelitales nacionales

Un equipo multidisciplinario de ingenieros y técnicos de la CNEA tiene a su cargo la construcción de partes fundamentales de las antenas de radar para las misiones satelitales argentinas SAOCOM 1A y 1B, desarrolladas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). El programa de trabajo abarca las estructuras, los mecanismos para el despliegue y los módulos radiantes que integran la Antena Radar de Apertura Sintética (ARAS) de dichos satélites de observación.

La ARAS es un instrumento activo especialmente diseñado en la CNEA que trabaja en el rango de las microondas y permite la obtención de imágenes con las que los satélites SAOCOM podrán cumplir su función de observar el planeta Tierra con el objetivo principal de medir la humedad del suelo. Los datos obtenidos se usarán en agricultura para elaborar mapas de riesgo de enfermedades de los cultivos, crear sistemas de aplicación eficiente de fertilizantes y generar sistemas de alerta temprana de inundaciones mediante su uso en modelos hidrológicos. También servirán para dar soporte a la gestión de emergencias ambientales, como detección de derrames de hidrocarburos en el mar y seguimiento de la cobertura de agua durante inundaciones, entre otras aplicaciones. Estos satélites pueden proveer información en forma independiente de las condiciones meteorológicas y de la hora, ya que pueden “ver” a través de las nubes y obtener imágenes de día y de noche.

La primera antena para el SAOCOM 1A ya fue finalizada y enviada a la planta de INVAP en Bariloche, donde se integró el satélite completo y se están realizando los ensayos previos a su lanzamiento, previsto para mediados de agosto de 2018.

Los especialistas de la CNEA se encargaron del desarrollo de la estructura, los mecanismos de despliegue y los módulos radiantes de la antena. Esto incluyó desde la ingeniería conceptual hasta la integración del dispositivo al satélite, pasando por las etapas de ingeniería básica y de detalle, el desarrollo y calificación de los métodos de fabricación empleando nuevos materiales, así como también del desarrollo de los equipos y el herramental necesario para las tareas de integración y ensayo.

Todos estos trabajos se hicieron considerando que tanto la estructura de la antena como sus mecanismos y componentes deben soportar las adversas condiciones del lanzamiento y la puesta en órbita, sin que se degraden sus características ni sus funciones. Durante el lanzamiento la antena irá plegada y se abrirá una vez que el satélite alcance su órbita gracias a los mecanismos de retención-liberación. La superficie radiante de la antena desplegada será de unos 35 metros cuadrados, con una estructura de más de 3 metros de altura y 10 metros de longitud. Su estructura cuenta con un panel central fijado a la plataforma de servicio del satélite y dos conjuntos simétricos de tres paneles plegados que se ubican a cada uno de sus lados. A su vez, cada uno de estos paneles posee 20 módulos radiantes que son los componentes encargados de emitir y recibir las señales de radiofrecuencia de la antena. Todos los trabajos se realizaron en las instalaciones del proyecto ARAS en el Centro Atómico Constituyentes. Actualmente, el grupo de la CNEA conformado por más de 70 profesionales se encuentra trabajando en una segunda antena destinada al SAOCOM 1B, que será entregada a INVAP para el armado del satélite durante 2018.

Aclaraciones y comentarios

En la Revista de la CNEA N° 67/68 – Julio-diciembre 2017, en la sección **CNEA al Día**, se publicó bajo el título “**Nuevo espacio verde reemplaza a una ex mina de uranio**” una noticia referida las tareas de remediación ambiental realizadas por la CNEA en el sitio ex Complejo Minero Industrial Malargüe, provincia de Mendoza, en el cual en el pasado se desarrollaron actividades relacionadas con la minería del uranio.

Corresponde precisar que el "Parque El Mirador", inaugurado en la referida localidad mendocina, se encuentra en el predio del citado ex Complejo y no en el sitio de una ex mina de uranio.

**EMPRESAS Y FUNDACIONES DEL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO
ASOCIADAS O VINCULADAS CON LA CNEA B1802AYA) Ezeiza**

COMBUSTIBLES NUCLEARES ARGENTINOS S.A. (CONUAR)

CONUAR fue creada por Decreto N° 1719/81. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde el 33,33% a la CNEA y el 66,67% restante a la empresa privada SUDACIA S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene como objetivo producir, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, elementos combustibles para el abastecimiento de las centrales nucleoelectricas y de los reactores de investigación argentinos. Su dirección es Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1300 - Fax: (54 – 11) 6326-1490 -

DIOXITEK S. A.

DIOXITEK fue creada en 1996 por Decreto N° 1286/96. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde en un 99% a la CNEA y el 1% restante a la provincia de Mendoza. Su objetivo inicial fue garantizar el suministro del dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los elementos combustibles para las centrales nucleares de potencia. En 2002 incorporó a su actividad la producción y comercialización de fuentes selladas de cobalto 60 para uso medicinal e industrial. Su planta de producción de dióxido de uranio se encuentra en la ciudad de Córdoba y la planta industrial de elaboración de fuentes selladas de cobalto 60 en el Centro Atómico de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Su dirección es Avenida del Libertador 8.250 (B1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Teléfono: (54 – 11) 4704 - 1035/1236 - Fax: (54 – 11) 4704 - 1043 - www.dioxitek.com.ar

EMPRESA NEUQUINA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA S. E. (ENSI)

ENSI fue constituida el 21 de diciembre de 1989 entre el Gobierno del Neuquén y la CNEA. Es una sociedad del estado neuquino cuyo capital accionario corresponde en un 51% a dicho estado y un 49% a la CNEA y su sede se encuentra en la localidad de Arroyito de la citada provincia. Su objetivo principal es operar plantas químicas a escala piloto e industrial y elaborar y comercializar productos químicos. Por contrato con la CNEA se hizo cargo de la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) situada en la citada localidad de Arroyito. ENSI, además, presta servicios de ingeniería a empresas dedicadas a la producción de petróleo, gas y energía eléctrica que operan en la región. Su dirección es Ruta Nacional 237 km. 1278 Arroyito, Neuquén. Casilla de Correo 636 (8300) Neuquén Arroyito - Pcia. del Neuquén - Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 - Fax: (54 – 299) 440534 – E-mail: piap@ensi.com.ar - www.ensi.com.ar

FABRICA DE ALEACIONES ESPECIALES S.A. (FAE)

FAE fue creada por Decreto N° 1088/86. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde un 32% a la CNEA y el 68% restante a la empresa CONUAR S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene por objetivo la producción, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, de vainas y semiterminados de zircaloy 4 para la fabricación de elementos combustibles para reactores de potencia y la producción de tubos de acero inoxidable y aceros especiales de alta calidad. Su dirección es Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1493 - Fax: (54 – 11) 6326-1496 - www.fae.com.ar

INVAP S. E.

INVAP fue creada por Decreto del Gobierno de Río Negro N° 661/76. Es una empresa de tecnología cuyo capital accionario corresponde en un 100% al estado rionegrino, estando vinculada a la CNEA mediante un acuerdo con la referida provincia. Su sede se encuentra en San Carlos de Bariloche. Su objetivo estatutario original es servir al desarrollo nuclear argentino, aunque más tarde ha extendido sus actividades a otros campos tecnológicos como el aerospacial. Se dedica principalmente al desarrollo y construcción de reactores de investigación e instalaciones nucleares de todo tipo, así como también de sistemas de aplicación médica y científica y al desarrollo y fabricación de satélites y radares. Su dirección es Avda. Cmte. Luis Piedrabuena 4950 - (R8403CPV) San Carlos de Bariloche – Pcia. de Río Negro – Teléfono: (54 – 2944) 4409 300 - Fax: (54 – 2944) 4409 336 - www.invap.com.ar

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A (NA-SA)

La NA-SA fue creada por Decreto N° 1.540/94. Es una sociedad Anónima cuyo capital accionario corresponde el 79% a la Secretaría de Energía de la Nación, el 20% a la CNEA y el 1% al Ente Binacional de Emprendimientos Energéticos S.A. Tiene a su cargo la operación y comercialización de la energía eléctrica generada por las Centrales Nucleares Atucha I- Unidades I y II y Embalse, así como por las futuras unidades de generación nucleoelectrica. Su dirección es Arribeños 3619 – (C1429BKQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires- Teléfono: (54-11) 4701 – 7070 - Fax: +54 11 4701 8621 - E-mail: ri@na-sa.com.ar - www.na-sa.com.ar

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias. La CNEA es poseedora del 20% del capital accionario. El PTC tiene por objeto prestar servicios en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico cuando ellos requieran complementar las capacidades de sus integrantes. Su dirección es Parque Tecnológico Miguelete – Edificio 1 - Avda. General Paz (entre Constituyentes y Albarillos) (1650) San Martín - Pcia. de Buenos Aires - Teléfono / fax: (54 – 11) 754 – 4070 – www.cnea.edu.ar/polo

FUNDACIÓN CENTRO DE DIAGNÓSTICO NUCLEAR (FCDN)

La FCDN constituye un emprendimiento conjunto de la CNEA y la FUESMEN con el objeto de dotar al conglomerado bonaerense de un centro de última generación de diagnóstico por técnica de emisión de positrones (PET). Fue creada el 14 de diciembre de 2004 y su Centro de Diagnóstico Nuclear fue inaugurado el 23 de mayo de 2007. Su dirección es Avenida Nazca 3449 (1429) Buenos Aires – Teléfono / fax: (54 – 11) 4566-7597 - E-mail: info@fcdn.org.ar – www.fcdn.org.ar

FUNDACIÓN ESCUELA DE MEDICINA NUCLEAR (FUESMEN)

La FUESMEN fue creada por convenio suscripto el 21 de diciembre de 1990 entre la CNEA, el Gobierno de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo, con el objetivo de desarrollar actividades científicas, docentes y asistenciales en un marco de excelencia técnica y humana en el campo de la medicina nuclear y el radiodiagnóstico. Su dirección es: **Garibaldi 405 (M5500CJI) Mendoza – Pcia. de Mendoza - Teléfono: (54 – 261) 4201615 - Fax: (54 – 261) 4203288 - E-mail: info@fuesmen.edu.ar - www.fuesmen.edu.ar**



Comisión Nacional
de Energía Atómica

ISSN 1666-1036