

ESTADO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR

*José Maldifassi P.
Teniente 1º*

Introducción

*L*os efectos del descubrimiento de nuevos recursos, avances tecnológicos y decisiones políticas que se hacen en ciertos países, inevitablemente traen aparejados un impacto internacional. Los problemas que se originan dentro del contexto nacional de esos países acarrearán consecuencias internacionales cuando se trata de la industria nuclear.

El objeto de este trabajo es dar a conocer ciertas informaciones relacionadas con la industria nuclear en general, y el estado de la misma.

Antecedentes históricos

En el año 1941, en la Universidad de Chicago, el gran físico italiano Enrico Fermi, mediante un arreglo de planchas de grafito y esferas de uranio logró establecer en forma controlada y automantenida una reacción nuclear. Esta reacción, en la cual los núcleos de uranio se rompen o "fisionan", es capaz de liberar una gran cantidad de energía; y su utilización representa un paso vital para la historia de la Humanidad. Por un lado, dio origen a las armas de mayor poder destructivo que haya creado el hombre y, por otro, abrió las puertas a una fuente de energía capaz de satisfacer la creciente demanda de este vital recurso. El primer reactor comer-

cial entró en operaciones en Shippingport, Pennsylvania, en 1957.

La difusión de la energía nuclear a nivel internacional se inició definitivamente con el programa Atomos para la Paz, del presidente Eisenhower, en 1955, que se materializó en un conjunto de acuerdos bilaterales que convirtieron a Estados Unidos en el principal proveedor de materiales, equipos y tecnología nuclear; no obstante, el mayor impulso en este desarrollo se debió, sin lugar a dudas, al impacto de la crisis del petróleo en 1973. Esta crisis dio paso a un mercado nuclear de connotación expansionista, con tendencias hacia la multipolaridad, tanto desde el punto de vista de los exportadores como de los importadores, y a la diversificación en la oferta y la demanda de tecnología y equipos.

El número de países que constituyeron el Club de Londres (1975-1977) y que elaboraron las guías uniformes de exportación de tecnología nuclear, da una idea de la expansión de la oferta: Bélgica, Canadá, Checoslovaquia, Francia, República Federal Alemana, República Democrática Alemana, Italia, Japón, Países Bajos, Polonia, Suecia, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos y la Unión Soviética. Al 30 de junio de 1980, doce países en vías de desarrollo poseían plantas nucleares de uso comercial, ya sea en operación, bajo orden de construcción o con una "carta de intenciones de construcción" firmada.

El ciclo de combustible nuclear básico

La figura 1 muestra, en un diagrama de bloques, las diferentes etapas del ciclo de combustible nuclear.

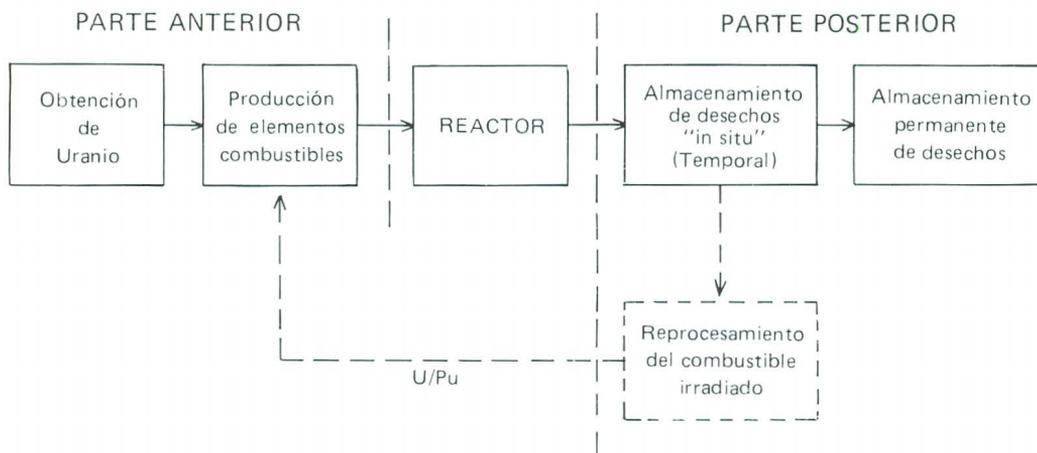


Figura 1. Ciclo de combustible básico

La parte anterior (*front end*) del ciclo está compuesta por todos los procesos a que es sometido el mineral de uranio, desde que es obtenido de la mina hasta que se encuentra listo para ser utilizado dentro del reactor. Los procesos a realizar en el bloque de actividades Obtención de uranio dependen del tipo de reactor a usar. En caso de ser un reactor que utiliza uranio natural y agua pesada (D_2O), el material que se obtiene de la mina (U_3O_8) se convierte directamente en óxido de uranio (UO_2). Si se trata de un reactor de agua liviana (H_2O), el uranio natural no es apropiado, por lo que es necesario "enriquecer" el material a utilizar como combustible.

El uranio natural se compone en un 99,29% del isótopo U^{238} , que no se fisiona con los neutrones que se obtienen en un reactor de agua, y en un 0,71% del isótopo U^{235} , que sí se fisiona con ese tipo de

neutrones. El enriquecimiento del uranio es la terminología usada para designar los procesos por los cuales la concentración isotópica del U^{235} es aumentada por sobre su nivel natural de 0,71%.

Concentraciones más altas de U^{235} son necesarios para varios usos:

- Reactores de agua liviana a cerca de un 3%.
- Combustible para submarinos a más del 90% (*).
- Armamento nuclear a más del 90%.
- Reactores de investigación a más del 90% (algunos).

La parte posterior (*back end*) del ciclo está compuesta por las acciones

(*) Referencia 7.

tendientes al segundo manejo del material irradiado. El almacenamiento de desechos *in situ* consiste en estanques a piscinas, en los cuales el material irradiado permanece por cerca de 30 años, hasta que sus niveles de radiación bajan a niveles que permitan su transporte en forma más segura. El almacenamiento permanente consiste en la deposición de los desechos en forma líquida (dentro de barriles contenedores especiales) o en forma sólida (vitrificación), en estructuras geológicas de una gran estabilidad comprobada (millones de años), de modo que se tenga un gran grado de certeza respecto a la integridad de los elementos de contención de los materiales radiactivos por más de 10 mil años, que es la vida media de algunos de los productos de desecho de gran actividad.

El reprocesamiento del combustible irradiado es una sección aparte del ciclo, ya que no es vital para el abastecimiento de combustible al reactor. Su incorporación al ciclo reduce en gran medida el volumen de los desechos radiactivos, además que reduce la cantidad de uranio necesario para producir la misma cantidad de energía. De este reprocesamiento se obtiene principalmente plutonio, cuyas ventajas son el poder ser obtenido mediante procesos químicos de separación, y que es un muy buen combustible nuclear; sus principales y más importantes desventajas son su alto índice de radiación, su alta toxicidad (es el elemento que se ha mostrado como el más nocivo para

la vida humana) y su utilización como el principal elemento para las armas atómicas (la bomba de Hiroshima fue en base a uranio U^{235} y la de Nagasaki a plutonio²³⁹). También, del reprocesamiento se obtiene el uranio que no se ha quemado y que junto con el plutonio se devuelve a la parte anterior del ciclo, para el uso como material combustible.

Las ventajas de un ciclo de combustible con reprocesamiento se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Requerimientos de U_3O_8 (material que se obtiene de la purificación del mineral de U) para una planta modelo de 1.000 MWe (toneladas métricas de U_3O_8 por año).

Porcentaje de U^{235} en los residuos de la planta de enriquecimiento

	0.30	0.25	0.20
Sin reproceso	248	225	206
Reproceso del uranio	205	182	162
Reproceso del uranio y del plutonio	170	151	136

Según estos datos, los beneficios económicos del reprocesamiento son obvios, pero está de por medio la decisión política de desarrollar la tecnología y la industria para ello.

Tipos de reactores en servicio y requerimiento de combustible de cada uno de ellos

La siguiente tabla muestra los mayores tipos de reactores de potencia en uso:

Tipo de reactor	Combustible	Moderador	Refrigerante
Agua a presión (PWR)	3% U^{235} (UO_2)	H_2O	H_2O
Agua hirviendo (BWR)	3% U^{235} (UO_2)	H_2O	H_2O
Canadiense, de agua pesada (CANDU)	Uranio natural (UO_2)	D_2O	D_2O (D: Deuterio)

Inglés, refrigerado por gas (Magnox)	Uranio natural (metal)	Grafito	CO ₂
Inglés, refrigerado por gas avanzado (AGR)	3% U ²³⁵ (UO ₂)	Grafito	CO ₂
Agua y Grafito (LGR)	Uranio natural o levemente enriquecido. (UO ₂ ó metal)	Grafito	H ₂ O
Refrigerado por gas de alta temperatura (HTGR)	95% de U ₂₃₅ ó U ²³³ (UO ₂ , cubierta ThO ₂)	Grafito	Helio gaseoso
Reproducción rápido, enfriado por metal líquido (LMFBR)	15 a 25% PuO ₂ en UO ₂ (cubierta de UO ₂)	No usa moderador	Sodio líquido

La figura 2 muestra la distribución de estos reactores, en porcentaje, sobre un total de 297 unidades instaladas.

Potencia instalada, 173 GWe

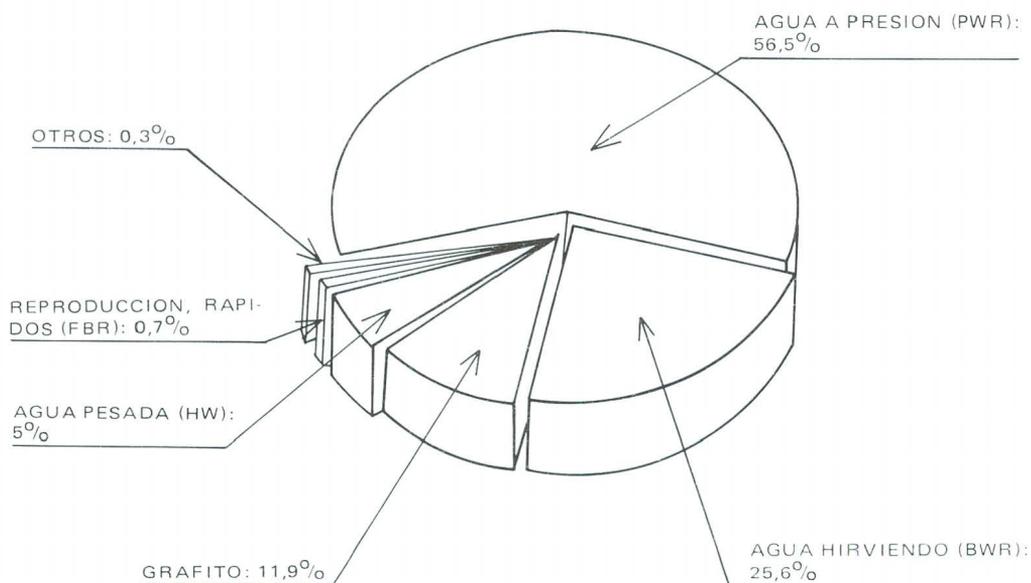


Figura 2. Reactores en operación a 1983

De estas 297 unidades, los países con la mayor cantidad de reactores en servicio son: Estados Unidos (80), Rusia (40), Inglaterra (32), Francia (32), Japón (25). China no posee reactores de potencia operando; su primera unidad está programada para ser puesta en servicio el año 1988.

La figura 3 muestra la distribución de reactores en construcción o con carta de intención firmada, sobre un total de 216 Unidades.

Potencia a instalar, 205 GWe

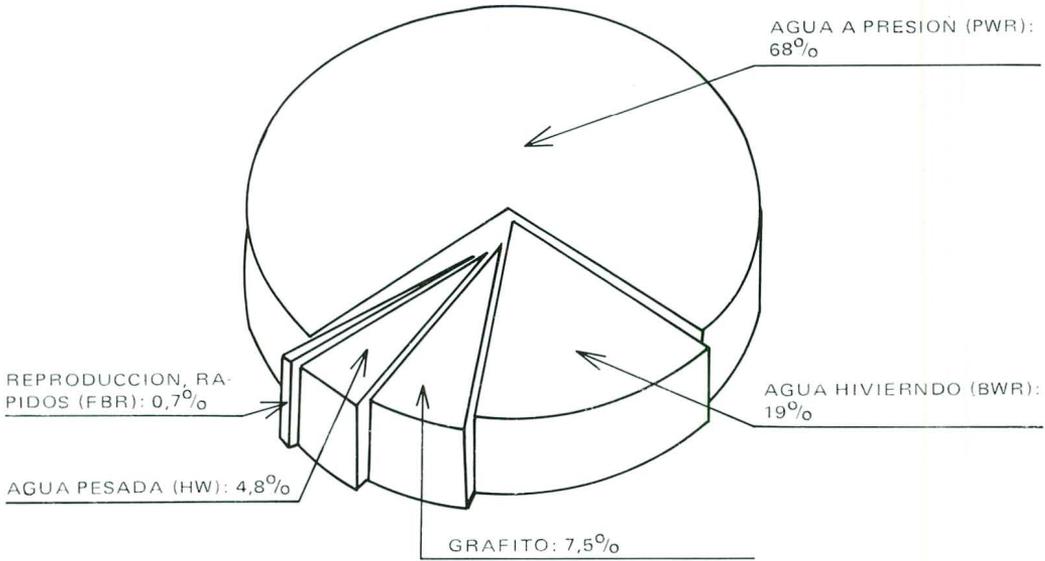


Figura 3. Reactores en construcción a 1983

La figura 4 muestra las órdenes acumulativas de reactores a 1982.

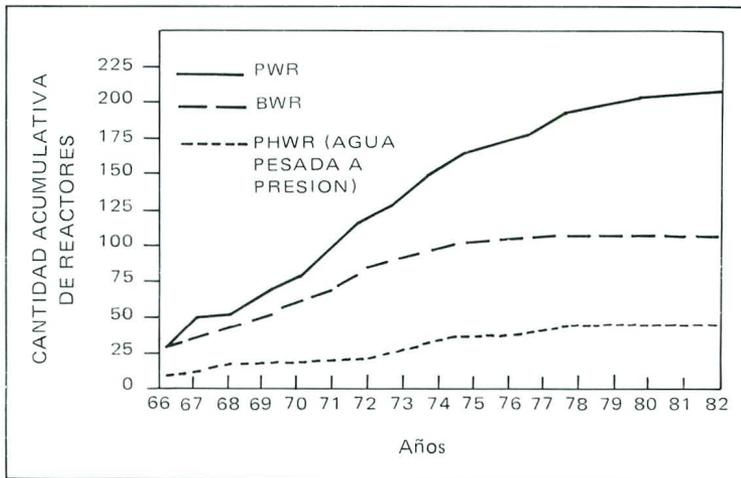


Figura 4

Estado actual de la industria nuclear

Mientras en Estados Unidos no hay plantas con orden de compra, en el resto del mundo la industria nuclear está en crecimiento. Países con una alta dependencia de petróleo importado, tales como Francia, Alemania Federal y Japón, tienen vastos programas de expansión nuclear, pero este desarrollo se basa en programas nacionales de planificación en los cuales el Estado tiene todo el control y responsabilidad. En el caso de la industria nuclear de Estados Unidos, ella está en manos de particulares.

En Francia, que ha pasado al segundo lugar, desplazando a la Unión Soviética en reactores de potencia, durante parte de 1983, el 52% de la electricidad fue generada por plantas nucleares, representando más del 80% de la generación térmica.

En Japón, gracias al proceso de aprendizaje del uso y construcción de las plantas nucleares de potencia de procedencia de los Estados Unidos, han obtenido excelentes niveles de uso y operación de estas instalaciones, y ya las firmas Mitsubishi, Hitachi y Toshiba han comenzado la construcción de sus primeras plantas totalmente diseñadas y construidas con tecnología japonesa.

Debido a las condiciones sísmológicas de Japón, las plantas que son diseñadas para ese país son de características especiales, que a largo plazo significarán una gran experiencia para las posibles plantas nucleares de potencia que se construyan en Chile.

En América del Sur, Brasil y Argentina son los países con el mayor desarrollo nuclear; el primero, en base a convenios internacionales con Estados Unidos y Alemania, y el segundo, en convenios con Alemania, Italia y Canadá.

Brasil tiene en operación a baja potencia una planta, con dos más en vías de construcción.

Indudablemente que el programa nuclear de Argentina es el más completo y ambicioso de todos, con dos centrales nucleares operando a plena potencia y una tercera en construcción. El proyecto contempla tres centrales más para fines de siglo. Pretenden obtener el desarrollo de todo el ciclo de combustible nuclear, incluso con reprocesamiento y la autosuficiencia en cuanto a la tecnología de construcción de centrales nucleares. También han aparecido en la prensa informaciones de que a fines de 1985 podrán producir, con tecnología propia, uranio enriquecido de hasta un 20%.

En Occidente, los servicios de enriquecimiento son totalmente satisfechos por Estados Unidos y Europa, con países tales como Japón, Australia y Sudáfrica, con plantas piloto en funcionamiento. Los procesos básicos de enriquecimiento usados son difusión gaseosa, centrifugación y proceso aerodinámico (tobera Becker), todos ellos basados en la diferencia de peso atómico de los isótopos U^{235} y U^{238} .

En cuanto a proyectos de construcción de plantas, actualmente toma del orden de 10 a 12 años la construcción de una central de potencia en Estados Unidos. En Francia, la construcción de centrales de similar potencia toma solamente 6 años; esto ha sido posible gracias a la estandarización de las centrales francesas en potencias de 900 MWe y de 1.300 MWe, mientras que en Estados Unidos todas las plantas son de características diferentes, lo que dificulta su construcción y licenciamiento.

Proyecciones a futuro de la industria nuclear

Se estima que para el año 2000 la demanda de energía de los Estados Unidos será del orden del 20% del total de energía consumida en el mundo. Del gran total mundial, el 10% será producido mediante plantas nucleares. Y dentro de los Estados Unidos la energía nuclear ocupará el cuarto lugar con un 11% (carbón, 31%;

petróleo doméstico, 17%; gas natural doméstico, 15%; petróleo y gas importado, 11%); esto corresponde a un 29% de la producción de energía eléctrica (1º, carbón, 50%), y dentro de Europa la energía nuclear proveerá un 16% de la demanda total de energía, con un tercer lugar.

Según las estadísticas de proyección al año 2000, la energía nuclear será una fuente importante para satisfacer las necesidades de energía, tanto dentro de Estados Unidos como en el resto del mundo.

Importancia del desarrollo de la industria nuclear para Chile

En la medida que Estados Unidos se convierte en un socio poco confiable en lo que a tecnología nuclear se refiere, aparecen países tales como Inglaterra, Canadá, Francia, Italia, Alemania o Suiza, que están más dispuestos a proporcionar tecnología a países en desarrollo en el mundo occidental. En el área de países del bloque oriental, Rusia es, lejos, el mayor proveedor de tecnología, con algunos de sus satélites intentando desarrollar programas nucleares en forma semiindependiente.

Al ser Chile un país que no posee una tecnología nuclear que le permita desarrollar vastos programas en esa área, está a merced de los países poseedores de esta tecnología, que mediante la firma de contratos de salvaguardia y de venta de equipos y combustible, pretenden ejercer poder político y de control de la no proliferación horizontal de armamento nuclear. En oportunidades, estos contratos son tan restrictivos que imposibilitan la efectiva transferencia de tecnología básica hacia países en vías de desarrollo. Este tipo de restricciones hace que nuestro

país sea extremadamente sensible a todas las acciones de política nuclear que se desarrolle en Estados Unidos, ya que ellas, de una u otra forma, se transmiten a los otros países de Occidente en condiciones de proveernos de tecnología nuclear.

Según la opinión de un grupo de expertos de la American Nuclear Society, el abandono de la cooperación internacional en el uso pacífico de la energía del uranio propiciará programas nacionales "autóctonos", sin control ni salvaguardias en tecnología nuclear e instalaciones. Por lo anterior, la política internacional de los países que suministran reactores debiera ser la de asistir a los países en desarrollo, en aras de una expansión y manejo eficiente de su capacidad de plantas de energía, en forma de proveer a dichos países con un sistema de suministro asegurado de combustible y un sistema para la recepción de su combustible quemado; y, además, se debería fortalecer las salvaguardias para evitar la diversificación de material para usos militares.

Desde que se firma el contrato para la construcción de una central nuclear de potencia, hasta que se conecta a la red eléctrica nacional, pueden pasar de 10 a 15 años; pero, previo a la firma de ningún contrato, es necesario contar con una infraestructura de apoyo de un buen nivel técnico en lo referente a personal y a sistemas de apoyo a la industria nuclear.

Lo anterior, además de la gran inversión inicial, significa que todo programa abocado a la generación de energía nucleoelectrónica sea un esfuerzo a nivel nacional y de decisión político-económica que debe estar muy bien fundamentada por requerimientos reales, tanto de energía como de estrategia internacional.

BIBLIOGRAFIA

- Energía Nuclear y no proliferación en América Latina: *La constitución del sistema de Tlatelolco*, Separata de *Revista de Información Legislativa*, a. 19 n. 75, Jul/St. 1982, Brasilia.

- *Revista del Colegio de Ingenieros de Chile*, N° 85, 1980.
- *Nuclear News*, Vol. 26 N° 4, March 1983.
- *Disarmament*, Vol. 1, United Nations, New York, 1981.
- *USA's Energy Outlook 1980-2000*, Exxon Company, December 1980.
- *Nuclear Engineering International*, August-September 1983.
- *Nuclear Energy*, R.G. Wymer, Oak Ridge National Laboratory, September 29, 1981.
- *Nuclear Power developments in the United States*, Mr. Robert Ferguson, Program Director for Nuclear Energy, Miami, April 9, 1979.
- *World Energy outlook* , Exxon Background Series, December 1980.
- *Nuclear Engineering International*, August 1983, supplement (Power Reactors 1983).

