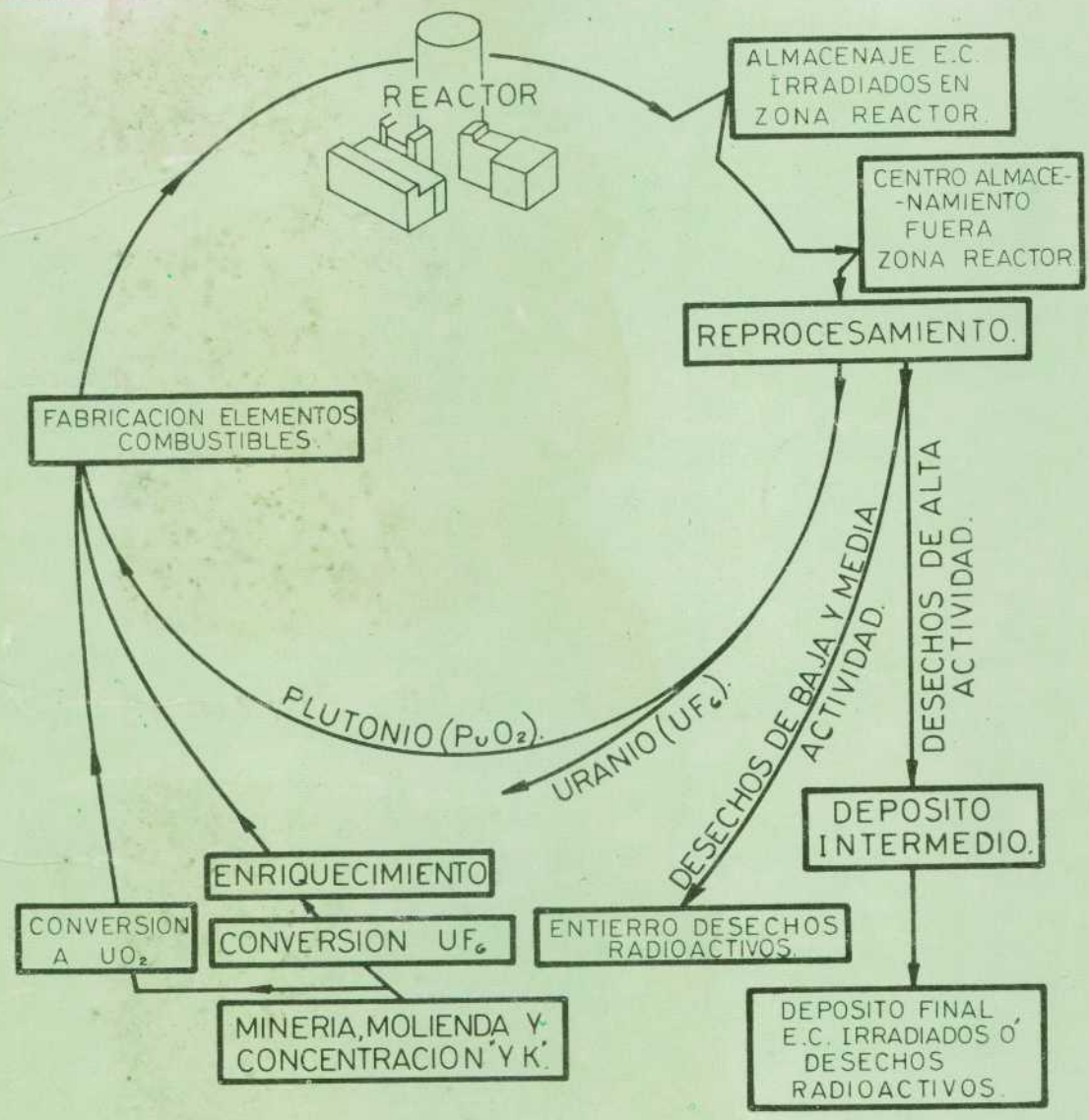
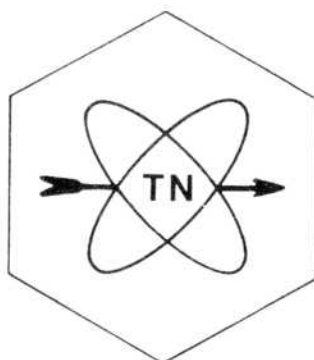


ENERGÍA NUCLEAR N°13



CICLO COMBUSTIBLE CERRADO.

el mercado mundial de elementos combustibles nucleares y la inserción de la Argentina en el mismo.



TRANSNUCLEAR S.A.

Nueva Empresa Argentina, integrada por
TECHINT S.A. TRANSNUKLEAR GmbH.
de ALEMANIA, y TRANSNUCLEAIRE S.A. de FRANCIA,
con la que el país accede a la tecnología más
avanzada y a la más amplia experiencia mundial
en el campo de los servicios integrales de
decontaminación, transporte, manipuleo y
almacenamiento de sustancias radioactivas,
combustibles nucleares irradiados y, en general,
todo tipo de materiales de uso nuclear.

OTRO ESFUERZO PRIVADO EN APOYO
DEL PLAN NUCLEAR ARGENTINO Y HACIA
LA AUTOSUFICIENCIA NUCLEAR
A NIVEL REGIONAL.



TRANSNUCLEAR S.A.

Córdoba 320 (1054) BUENOS AIRES, ARGENTINA
Tel: 312-6041 Telex: 9132 TENCO-AR

el mercado mundial de elementos combustibles nucleares y la inserción de la Argentina en el mismo

C. BIONDO(*)

'La gestión de todos los materiales y servicios asociados con los elementos combustibles a lo largo de la vida de las Centrales Nucleares, constituye la tarea más importante de los propietarios de las mismas'.

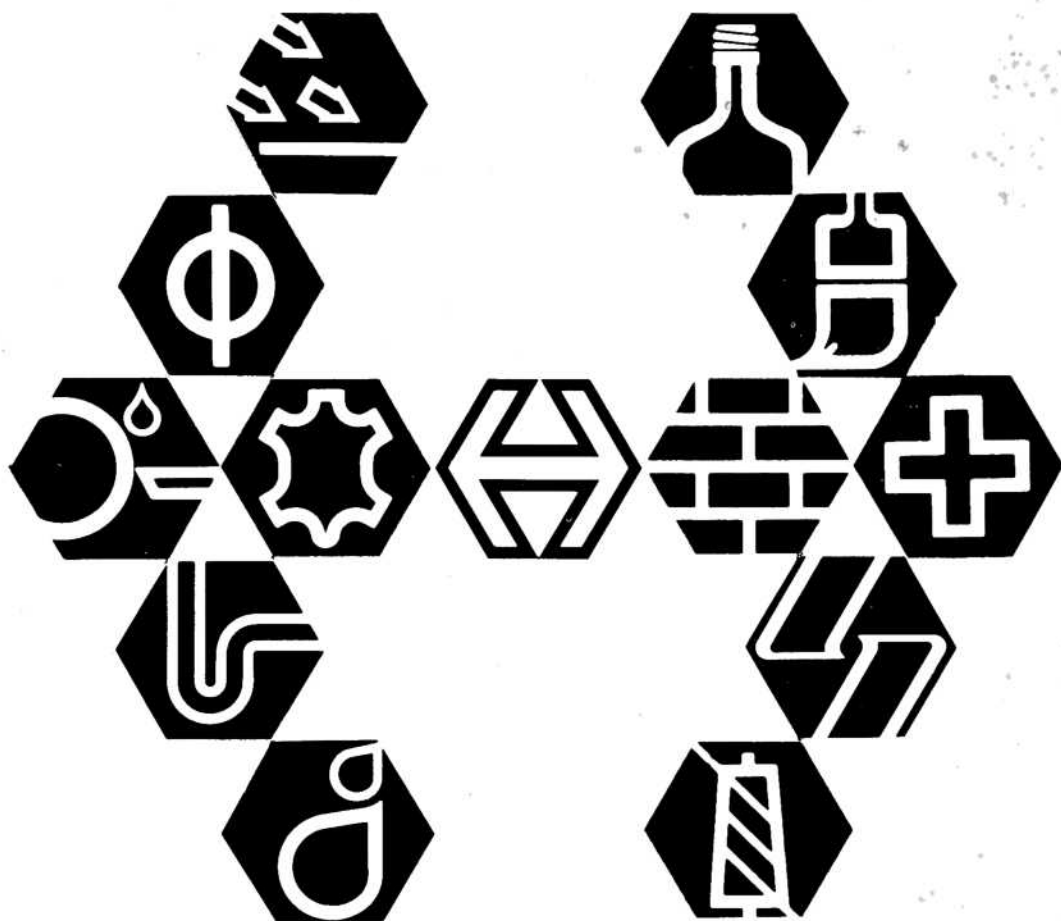
(ECONOMIC EVALUATION OF BIDS FOR NUCLEAR POWER PLANTS: A. GUIDE-BOOK.

TECHNICAL REPORT SERIES Nº 175. CAPITULO 5.2, Pág. 19. IAEA. VIENA 1976).

NOTA: El autor desea agradecer a la señorita Mónica Vilella, señora Angela Granese y señor Javier Villares, la inestimable colaboración prestada en la compaginación del trabajo.

(*) COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

La productividad bien entendida empieza por Houghton



RAINBOW

Línea de auxiliares químicos para la industria.

Tratamiento de superficies.
Tratamientos térmicos.
Mecanizado.
Fluidos hidráulicos.

Lubricantes especiales.
Anticorrosivos.
Pinturas antioxidantes.
Biocidas Higiene Industrial.

Auxiliares químicos para la
industria del papel.
Auxiliares químicos para la
industria textil.

Auxiliares químicos para la
industria del cuero.
Auxiliares químicos para la
industria de la construcción.



QUIMICA ARGENTINA HOUGHTON
Un factor de productividad en su industria

PLANTA FABRIL: Ruta 2 - Km. 27,5 - 1884 Berazategui - Tel.: 255-1030/34 DELEGACION CORDOBA: Larrea 480 - Tel.: 511262

El presente trabajo pretende mostrar el desarrollo de la industria de los elementos combustibles nucleares dentro del correspondiente mercado actual y proyectado a nivel mundial, el cual se encuentra condicionado por la situación que atraviesa el parque nucleoelectrico correspondiente, cuya evolución sumariamente también se señala bajo el punto de vista del mercado considerado.

Por medio de la función oferta/demanda del mercado de elementos combustibles, se analiza el comportamiento del mismo a través de la estructura del "Ciclo de Combustible", que relaciona las etapas industriales correspondientes, mostrando los desbalances regionales en los recursos uraníferos existentes en el mundo, como así también aquellos factores que inciden en forma desfavorable en la ecuación económica del mencionado ciclo.

El tratamiento prácticamente enunciativo que se efectúa sobre la "Economía Nuclear", de ningún modo pretende aportar nuevos conocimientos ni fijar posiciones novedosas sobre el tema —ciclo que no fue considerado dentro del alcance del trabajo—, sino solamente presentar la estructura económica que debe aplicarse en el cálculo del costo de generación nucleoelectrica y a fin de ubicar, en dicha "Economía Nuclear", la componente correspondiente al costo del "Ciclo de Combustible", el cual tiene directa incidencia en el mercado de elementos combustibles en cuestión.

En el trabajo se consideran específicamente aquellas etapas del "Ciclo de Combustibles" con directa incidencia en el mercado de elementos combustibles analizado (las correspondientes al "front-end of the fuel cycle"), pero asimismo también se enuncian y tratan sumariamente las respectivas al "back-end of fuel cycle", las cuales, si bien no tienen una incidencia económica directa en el citado mercado, lo tienen sobre el costo de la energía generada por las centrales nucleoelectricas, situación ésta que siempre debe tenerse en consideración cuando se planifican acciones que afectan a dichas etapas.

Se trata el mercado de elementos combustibles argentino y su parque nucleoelectrico actual y proyectado —al cual el mismo abastece y abastecerá—, comparando su potencial con el correspondiente a nivel mundial y a fin de mostrar su posición relativa en dicho mercado.

En las referencias bibliográficas se han tenido en cuenta y seleccionado algunas de ellas que, aparte de referenciar la información contenida en el trabajo, pretende asimismo brindar material de consulta adicional a quienes desean ampliar el tema tratado.

I GENERALIDADES

A fin de considerar a la industria de los elementos combustibles nucleares, deberá primero analizarse el panorama de la demanda presente y proyectada de potencia nucleoelectrica instalada a nivel mundial, mercado al cual abastece dicha industria de elementos combustibles.

Un mundo con condiciones socio-económicas fuertemente cambiantes y en muchos casos con situaciones y eventos difícilmente predecibles, como los que se vienen presentando a partir de la tercera década del presente siglo, llama a la necesidad de tomar con mucha precaución los valores y resultados estadísticos sobre indicadores económicos, como así también las proyecciones que se efectúan a partir de los mismos.

Uno de los indicadores económicos de un país o región lo constituye el consumo de energía y en consecuencia sujeto a cambios con ley de variaciones en muchos casos de difícil predicción, de acuerdo al entorno con anterioridad planteado.

Independientemente de los factores geopolíticos que inciden en el mercado eléctrico, en aquel generado por fisión nuclear intervienen, además, aspectos de origen social que tornan aún más complejo el análisis de los modelos diseñados para estudiar el comportamiento, la proyección y la respectiva dinámica del mismo y corresponden al llamado "clima nuclear" establecido en diversos países o regiones y originado por movimientos políticos que inciden sobre las regulaciones gubernamentales para la instalación de centrales nucleares.

Dichos movimientos políticos basan su accionar, en algunos casos, en corrientes ecológicas que apoyan su devenir en una pretendida y atendible defensa del medio ambiente y en otros, a presiones ejercidas por las grandes potencias sobre los países en vías de desarrollo, bajo el pretexto de evitar lo que ellos denominan "PROLIFERACION NUCLEAR".

A su vez este mercado de generación nucleoelectrica, de rápidas situaciones cambiantes, adolece de la falta de un "Banco de Datos" con la suficiente antigüedad que minimice las dispersiones en las proyecciones de la demanda.

Si bien existe al presente una experiencia de aprox. 2.600 años-reactor, todavía no se ha cumplido la "vida útil" de ninguna central nuclear que permita acrecentar, con nuevos aportes, la información utilizada en los modelos para los estudios regionales de planificación nucleoelectrica.

En resumen y en mérito a los rápidos cambios de la situación nuclear, es de suma importancia la utilización de información lo más actualizada posible, que evite fuertes dispersiones en las proyecciones de las demandas energéticas en este campo y en consecuencia, del parque generador correspondiente.

A título ilustrativo, en la tabla de fig. 1 se pueden observar las fuertes dispersiones en las predicciones proyectadas, hasta fines del presente siglo, para la potencia nucleoelectrica instalada a nivel mundial y elaborada por distintos organismos y centros especializados.

Las cifras indicadas por el INFCE(1), corresponden a aquellos datos oficiales aportados por los países con programas nucleares en ejecución y elaborados principalmente al comienzo del trabajo (1977).

Las cifras aportadas por la "Interdevelopment Inc."(2), resultan de un inventario, hasta la finalización del presente siglo, de las centrales en operación, en construcción, las ya ordenadas y aquellas proyectadas con mayor probabilidad de materialización de los respectivos proyectos, según el análisis efectuado para cada país por dicha organización.

La República Popular de China y los países del CMEA(3) incluida Yugoslavia, aportan, 21,1 GWe a las cifras de potencia nucleoelectrica instalada a nivel mundial del año 1981, según el trabajo mencionado en (4) de la referencia. (China 2,16 GWe y los países del CMEA, incluida Yugoslavia y Corea del Norte, 18,95 GWe).

En consecuencia coinciden prácticamente los valores dados por esta fuente y la Interdevelopment Inc. II edición, de acuerdo a las cifras comparadas en planilla de fig. 1, pero no así en las proyecciones hacia fines de siglo, donde los apartamientos máximos entre distintas fuentes llegan hasta un 285%, según se observa en la tabla citada precedentemente.

En un reciente Seminario realizado en Zagreb, Yugoslavia, sobre la tecnología nuclear desarrollada en la Unión Soviética, en un documento presentado y referido a la "Cooperación de los países del COMECON(3) en el campo de la ingeniería nuclear" y que trataba la disminución de la participación soviética en el mismo, a la vez que la capacidad, en el mencionado campo, de los miembros de la Organización se expandía, se señala el incremento que de dicha capacidad industrial deberá operarse en el período 1981-1990, para satisfacer las necesidades del programa nucleoelectrico de los miembros del COMECON(63).

Dicho programa nucleoelectrico prevee una

PROYECCIONES ESTIMADAS DE LA POTENCIA NUCLEOELECTRICA INSTALADA A NIVEL MUNDIAL, SEGUN DISTINTAS FUENTES							
FUENTE		AÑOS					
		1980	1981	1985	1990	1995	2000
		GWE	GWE	GWE	GWE	GWE	GWE
INFCE (1977). (1)	MAX.	-	-	274	462	770	1.200
	MIN.	-	-	245	373	550	850
IAEA (INFORME ANUAL PARA 1981). GC (XXVII) 66. (2)	MAX.	-	153	-	430	-	1.075
	MIN.	-	-	-	-	-	740
INTERDEVELOP - -MENT INC. GUIDE FOR MARKE- -TING AND STRATE- -GIC PLANNING (1)	I-EDIC. Abr.-80	122,215	-	251,166	351,516	419,781	480,264
	II-EDIC. Nov.-81.	113,180	134,274	229,180	318,018	372,968	419,781
MAX. APARTAMIENTO SE- -GUN DISTINTAS FUENTES(%)		8	< 1 ⁽³⁾	19,5	45	106	285

- (1) - LAS ESTIMACIONES NO CONSIDERAN A LA REPÚBLICA POPULAR DE CHINA NI A LOS PAISES DEL CMEA (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE).
- (2) LAS ESTIMACIONES CONSIDERAN A LA REPÚBLICA POPULAR DE CHINA Y A LOS PAISES DEL CMEA.
- (3) APARTAMIENTO DESPRECIABLE SI SE TIENEN EN CUENTA, EN LAS CIFRAS DE LA "INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION", LAS CORRESPONDIENTES A LA REPÚBLICA POPULAR DE CHINA Y LOS PAISES DEL CMEA (19,9 MWE) E INFORMADAS EN LA REFERENCIA DE LA IAEA

FIG:1

expansión de la actual capacidad instalada en los países miembros (que asciende a 20,47 GWe), a 40 GWe hacia 1985, destacando que, para 1990 se operará un aumento de 37 GWe en esos países, excluida la URSS.

Son bastante coincidentes las cifras de potencia nucleoelectrónica instalada para los países del COMECON dadas por la IAEA en la referencia(4) (18,95 GWe en 1981) y las de la Nucleonics Week en la referencia (63) (20,47 GWe en 1983).

II MERCADO NUCLEOELECTRICO MUNDIAL Y SU PROYECCION HACIA EL AÑO 2000

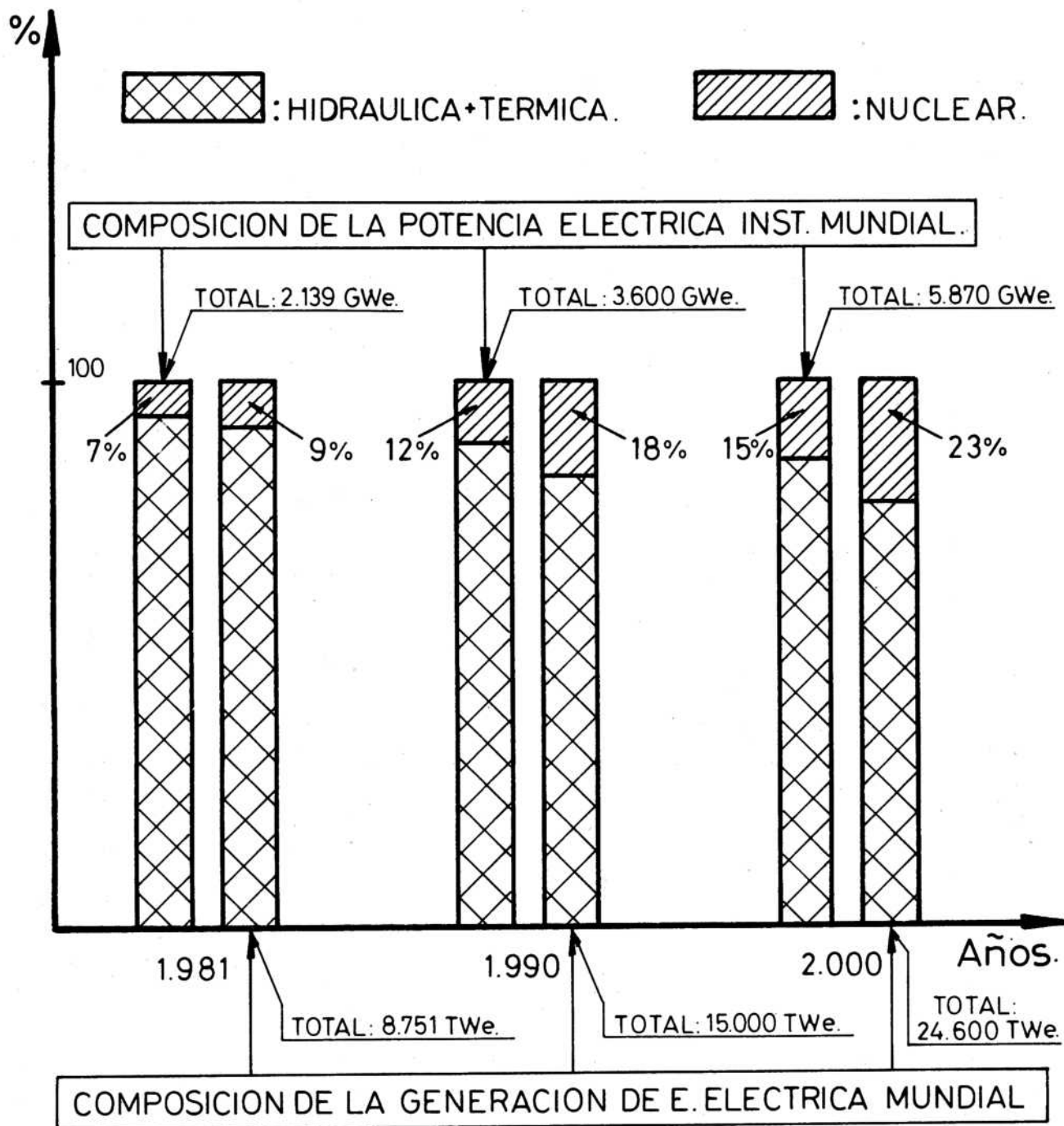
Las proyecciones y conclusiones de este trabajo están basadas en el escenario presentado por la "Interdevelopment Inc. en su II edición" y referido solamente a la generación nucleoelectrónica aportada por centrales equipadas con reactores nucleares térmicos, en razón que, a los fines de considerar el mercado de elementos

combustibles con producciones a nivel industrial, este tipo de generación es la que aportará la más significativa contribución hasta el año 2000, período de análisis abarcado.

Si bien existen planes ambiciosos en relación a otros conceptos avanzados de reactores, su contribución a la generación nucleoelectrónica, a escalas industriales y a nivel mundial, no es esperada hasta la próxima centuria.

Al respecto y siempre en el contexto de considerar a la industria de elementos combustibles, los reactores rápidos refrigerados a metal líquido (LMFBR), son los que ofrecen una mejor utilización de los recursos uraníferos mundiales.

La viabilidad de este concepto de reactores en relación a una significativa contribución al mercado nucleoelectrónico y como consecuencia al de elementos combustibles, depende, en gran parte, del desarrollo de la industria de "Reprocesamiento", actualmente con ingentes dificultades como resultado de la política de los Es-



FUENTE: Informe Anual para 1981 - IAEA GC (XXVI) 664

FIG. 2

tados Unidos de América en este campo, que propicia posponer la faz comercial del mismo, argumentando los riesgos de "proliferación nuclear" que ello implica.

Con la posible excepción del programa ruso de reactores LMFBR, Francia es el país que, a nivel mundial, se encuentra en las más avanzadas etapas en términos de experiencia operativa en este tipo de reactores, existiendo también otros países como Alemania, Japón, Italia y la India que poseen programas intensivos de trabajo en este área, ya sea con planes propios, o a través de programas multinacionales.

Otros conceptos de reactores, como los de alta temperatura (HTR), están siendo desarrollados a niveles industriales en algunos países, pero también sin significación para el mercado de elementos combustibles en el período considerado (hasta fines del presente siglo), en razón de su poca probable incidencia en la generación nucleoelectrica en dicho período y similar al caso de los reactores rápidos (LMFBR) indicado anteriormente.

Asimismo existen planes tendientes a reducir, en los reactores térmicos, los requerimientos de Uranio en el presente siglo, evento éste que puede tener incidencia sobre el mercado de elementos combustibles antes del año 2000.

Por ejemplo, los programas de trabajo previstos por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (DOE) contempla, hacia fines de la década del 80, reducciones en los requerimientos de Uranio en reactores de agua liviana (LWR) del orden del 15%, con posibilidades de elevarse al 30% en el año 2000(2).

Estos programas de trabajo están dirigidos, principalmente, al mejoramiento en el diseño de los elementos combustibles y tendientes a aumentar el quemado de los mismos.

Dentro del contexto señalado precedentemente, en la fig. 2 y a nivel mundial, se observa la proyección, hacia fines de siglo, de la composición de la potencia eléctrica instalada y correspondiente generación de energía, como así también la captación que de las mismas efectúa la de origen nuclear.

Los porcentajes de captación señalados, se refieren a promedios con significativos apartamientos en algunos países. Mientras en Estados Unidos de América se han producido importantes aplazamientos en los programas de construcción de centrales nucleoelectricas, que incluye la cancelación de algunas de ellas, en Francia por otra parte, el gobierno ha confirmado un ambicioso programa nucleoelectrico

que probablemente, en 1990, produzca aprox. el 70% de la electricidad consumida en dicho país (4) (5).

Asimismo reciente información publicada el 11.1.83 por "Data Resource International" (DRI) en París y Londres(6), presenta un escenario optimista para el mercado nucleoelectrico en 15 principales países europeos hacia fines del presente siglo, principalmente en Francia y concordante con las predicciones efectuadas en 1981 en el informe anual de IAEA de la referencia(4).

En esta reciente publicación las proyecciones de la captación por parte de la generación nucleoelectrica en el mercado eléctrico francés hacia el año 2000, se elevará al 80% del mismo.

Dicha referencia(6) asimismo predice, para fines de siglo, un importante programa de operación, a nivel de demostración, de reactores rápidos en Alemania e Inglaterra y varias plantas "Superphenix", en operación sobre una verdadera base comercial, aunque representando un bajo porcentaje sobre la generación total nucleoelectrica; es decir, también se confirma la casi total participación de las centrales con reactores térmicos en la generación nucleoelectrica hasta el año 2000, definiendo así el perfil del correspondiente mercado de elementos combustibles.

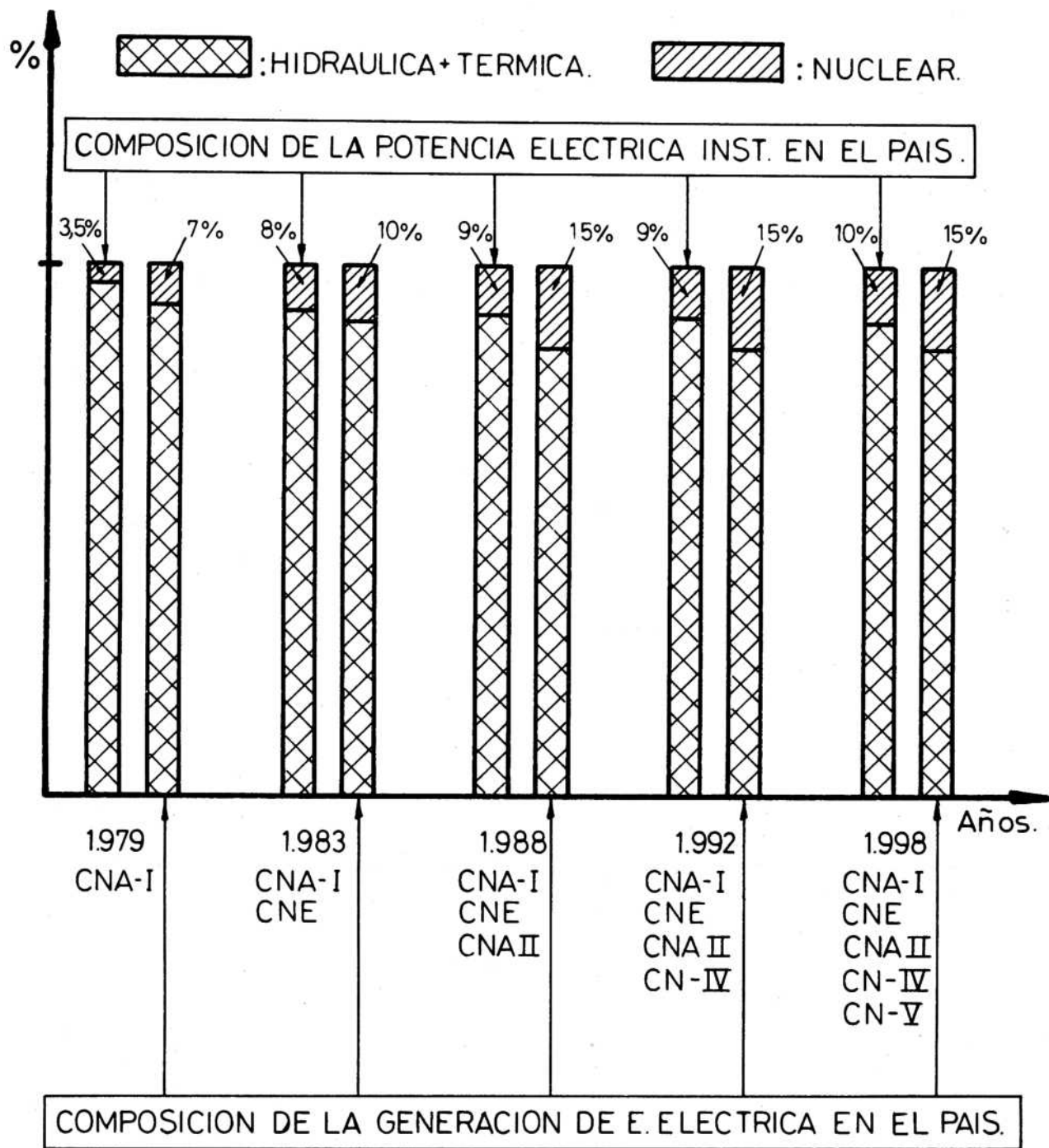
En la fig. 3 se observan las proyecciones, hacia fines de siglo, del mercado eléctrico argentino.

Tanto las cifras a niveles mundiales, como así también aquellas a nivel nacional, están continuamente en revisión y sujetas a modificaciones, principalmente las correspondientes a sus proyecciones.

En consideración a la inercia que posee este tipo de mercado y las proyecciones a mediano plazo consideradas (no mayor de 20 años), los porcentajes de captación nucleoelectrica para el mismo no pueden sufrir cambios sustanciales, al menos que se produzcan drásticas determinaciones en este área, con consecuencias cuyo análisis escapa al marco del presente trabajo.

Analizando la evolución, hacia fines de siglo, de la potencia instalada nucleoelectrica tomando los valores más realistas indicados en la referencia(2), se observa, en tabla de fig. 4, la correspondiente segmentación de dicho parque nucleoelectrico, en centrales de Uranio enriquecidos y natural (las cifras no incluyen las correspondientes a países del CMEA y la República Popular de China).

La pronunciada disminución en la partici-



FUENTE: Plan Nacional de Equipamiento para los Sistemas de Generación y Transmisión de E. Eléctrica. Periodo 1979-2.000 - M. ECONOMIA - Set. /79.

FIG. 3

AÑOS	POTENCIA ELECTRICA NUCLEAR INSTALADA A NIVEL (*) MUNDIAL GWE (1)	TIPO DE CENTRALES NUCLEARES					
		DE URANIO ENRIQUECIDO				DE URANIO NATURAL	
		AGR	BWR	PWR	LMFBR HTR	GGR	HWR
		% DE (1)	% DE (1)	% DE (1)	% DE (1)	% DE (1)	% DE (1)
1980	113,180	2.2	31	54.4	0.6	6.3	5.5
		88,2				11,8	
2000	419,160	2	21.4	70	0.7	0.6	5.3
		94,1 %				5,9 %	

(*) EXCLUIDO RUSIA Y LOS PAISES DE LA CMEA (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE)
 FUENTE: CIFRAS CALCULADAS DE INFORMACION DEL "GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING". INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981.

FIG:4

pación, hacia fines de siglo, del tipo de centrales de Uranio natural, es debido, fundamentalmente, al cumplimiento de la vida útil de las centrales grafito gas (GGR), las cuales no se seguirán construyendo, extinguiéndose así, en consecuencia, el respectivo mercado de elementos combustibles poco más allá del año 2000.

Asimismo, la casi totalidad del mercado de centrales de Uranio natural estará soportado, hacia fines del año 2000, por las del tipo HWR: Candu y en el Canadá.

Respecto a la República Argentina, la misma se encuentra en el segmento de centrales nucleares de Uranio natural del tipo HWR, actualmente con una central en plena operación (CNA-I) de recipiente de presión de 340 MWe, otra recientemente puesta en servicio (CNE), de tubos de presión de 640 MWe, una tercera en plena construcción (CNA-II) de recipiente de presión de 690 MWe y una cuarta Central (CN-IV) en los comienzos de su estudio de factibilidad.

Además están previstas, dentro del plan nuclear argentino, otras 2 centrales hacia fines de siglo.

En fig. 5 se resume la información hasta aquí analizada, donde pueden arribarse a algunas conclusiones respecto al mercado nucleoelectrico en su proyección hacia el año 2000:

- Marcada dispersión en la proyección de la demanda nucleoelectrica entre las distintas fuentes consultadas.
- Captación nuclear del mercado eléctrico

mundial, que no supera el 15% en potencia instalada y el 23% en energía generada, y casi totalmente cubierta por centrales con reactores térmicos.

- Captación nuclear del mercado eléctrico argentino, que no supera el 10% en potencia instalada y el 15% en energía generada.
- Mayor aumento porcentual del mercado de centrales nucleares de Uranio enriquecido y en consecuencia de sus elementos combustibles y disminución de los correspondientes de Uranio natural.
- La acentuada disminución del mercado de centrales nucleares de Uranio natural y en consecuencia de sus respectivos elementos combustibles se debe, en su mayor parte, a la extinción de la línea grafito gas (GGR).
- El mercado mundial de Elementos Combustibles de Uranio natural, estará constituido casi exclusivamente por aquellos del tipo HWR (Candú) y fuertemente concentrados en el Canadá, de acuerdo a las proyecciones efectuadas.

Este primer análisis habilita a definir 2 parámetros fundamentales del mercado mundial de elementos combustibles:

- 1) La "captación", de la generación nucleoelectrica, en el mercado mundial de generación eléctrica total,
- 2) La "segmentación" del mercado de generación nucleoelectrica, en tipos de centrales que definen también el tipo de elementos combustibles. (En su caracterización más significativa: las de Uranio enriquecido y las

ANÁLISIS DEL MERCADO MUNDIAL Y NACIONAL NUCLEOELECTRICO PARA LA PROYECCION DEL
CORRESPONDIENTE MERCADO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES NUCLEARES

I - MARCADA DISPERSIÓN EN LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA NUCLEOELECTRICA, SEGÚN LAS DISTINTAS FUENTES (1980→8%; 1985→19,5%; 1990→45%; 1995→106%; 2000→285%)

II-CAPTACIÓN NUCLEAR	MERCADO (1)	MUNDIAL	POTENCIA ELECTRICA INSTALADA	- 1981 ≈ 7% DEL TOTAL POT. INSTALADA
			- 2000 ≈ 15% " " " "	
	MERCADO (2)	ARGENTINO	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA	- 1981 ≈ 9% DEL TOTAL ENER. GENERADA
			- 2000 ≈ 23% " " " "	
	MERCADO (2)	ARGENTINO	POTENCIA ELECTRICA INSTALADA	- 1979 ≈ 3,5% DEL TOTAL POT. INSTALADA
			- 1998 ≈ 10% " " " "	
MERCADO (2)	ARGENTINO	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA	- 1979 ≈ 7% DEL TOTAL ENER. GENERADA	
		- 1998 ≈ 15% " " " "		

(1) INFORME ANUAL PARA 1981, IAEA GC (XXVI)/664

FUENTE: (2) PLAN NACIONAL DE EQUIPAMIENTO PARA LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGIA ELECTRICA 1979-2000 (M. ECONOMÍA SET, 1979)

FIG.5

de Uranio natural).
Asimismo un análisis dinámico de la potencia instalada nucleoelectrica hacia fines de siglo, indica distintos gradientes regionales de crecimiento de la misma(2):

Por Países

- Estados Unidos de América poseerá, en valores absolutos, el mayor incremento, pasando de una potencia nucleoelectrica instalada de 51,5 GWe a fines de 1980 a 120 GWe a fines del año 2000 (creciendo 2,5 veces en el período 1980-2000).
- Dentro de los países correspondientes al área de economías occidentales que tienen proyectado un considerable crecimiento relativo de su generación nucleoelectrica en el mismo período y con importantes valores absolutos de potencia instalada, se tienen:
 - a Francia: con un crecimiento de 6 veces (de 12,5 GWe a 76 GWe)
 - a Japón: con un crecimiento de 3,5 veces (de 14,5 GWe a 50,5 GWe)

- a la República Federal de Alemania: con un crecimiento de 4,2 veces (de 8,5 GWe a 36 GWe).
- Existen asimismo otros países con crecimientos proyectados también de relativa importancia: Canadá, España, Reino Unido, Korea, Taiwán).

Por Regiones

- Asia: con un crecimiento de 4,4 veces (de 17 GWe en 1980 a 75,5 GWe en el año 2000).
- Europa con un crecimiento de 4,6 veces (de 38 GWe en 1980 a 178 GWe en el año 2000).
- América Latina: con un crecimiento de 35,8 veces (de 0,340 GWe en 1980 a 12 GWe en el año 2000).
- América del Norte: con un crecimiento de 2,7 veces (de 56,5 GWe en 1980 a 151 GWe en el año 2000). Se incluye solamente USA y Canadá; México es incluido en América Latina.

Si el análisis dinámico a nivel mundial y proyectado hacia fines de siglo se efectúa sobre la composición del tipo de generación eléctrica no nuclear, se observa y de acuerdo a las fuentes consultadas (7), (8), (9):

- Una significativa disminución de la componente hidrocarburos como función de la problemática que plantean estos recursos primarios.
- Una moderada disminución de la participación hidráulica, motivada por el agotamiento de estas fuentes.
- Un moderado aumento de la generación por recursos carboníferos.

Otros recursos energéticos primarios como la geotérmica y solar, recién comenzarán a tener un papel relevante en la próxima centuria.

Salvo discrepancias respecto de los valores absolutos en la composición de los recursos energéticos para satisfacer la demanda de energía hasta fines del siglo, todas las fuentes internacionales coinciden sobre la tendencia que se observa en los tipos de generación a carbón y nuclear, como las más probables para sustituir, hasta el año 2000, la disminución que se espera de los otros recursos primarios en la estructura de oferta energética.

III ECONOMIA NUCLEAR

La capacidad de generación nucleoelectrica (regional y temporal analizada), su dinámica de crecimiento y su segmentación, fija la demanda y proyección, en el mercado, para los distintos tipos de elementos combustibles nucleares.

Asimismo dicho volumen de elementos combustibles demandado, también depende de una serie de parámetros de orden técnico inherentes a las características de las centrales nucleares.

Antes de seguir avanzando en el análisis del mercado de elementos combustibles nucleares, se debe considerar un aspecto de fundamental importancia ligado íntimamente a la economía de dicho mercado y corresponde al tratamiento del "Ciclo de Combustible", como así también al de su economía y con marcada influencia en la estructura de costo de la generación nucleoelectrica.

El "Ciclo de Combustible" encadena, dentro de una relación económica, todas las etapas de transformación físico-químico y mecánico-metalúrgica que sufre el material fisiónable, así como la incidencia de toda la infraestructura necesaria, tanto operativa como de suministros críticos requeridos para la evolución de dicho material y enmarcado en la política del lugar y tiempo donde se desarrolla el mismo.

Es decir puede considerarse al "Ciclo de Combustible", como una relación técnico-económica compleja, temporal y con marcados contornos geopolíticos.

La economía del "Ciclo de Combustible", no puede ser considerada en forma aislada, sino en el contexto de una "Economía Nuclear Integral" correspondiente a los respectivos centros de generación nucleoelectrica.

Esa "Economía Nuclear Integral" debe abarcar todos los aspectos que directa o indirectamente inciden de la estructura de costos de las centrales nucleares y cuyo objetivo principal lo constituye la determinación de un "real costo" de la energía generada por las mismas.

Dicha estructura comprende la faz técnico-comercial, como así también social, esto último por su implicancia en el impacto ecológico, del cual tampoco se encuentran exentos otros tipos de generación eléctrica, como ser la hidráulica, carbón y en el futuro la solar.

No siendo objeto de este trabajo tratar en profundidad a la "Economía Nuclear" en su aspecto integral, se enunciarán solamente sus elementos estructurales, a fin de ubicar dentro de los mismos a uno de ellos: El "Ciclo de Combustible".

La "Economía Nuclear" correspondiente a los centros de producción nucleoelectrica, está básicamente constituida, en su estructura de costos, por tres factores principales(2):

A - "Costos Comerciales", que comprenden a los costos totales operativos de generación nucleoelectrica.

B - "Costos gubernamentales" o "Costos Ocultos" o "Costos no Expuestos", que comprenden aquellos costos de investigación y desarrollo soportados por el Estado, así como otros correspondientes a trabajos sobre reglamentaciones de protección sanitaria, prevenciones de seguridad, licenciamientos, estudios especiales como los de factibilidad y viabilidad de proyectos de instalación de centrales nucleares, incentivación de la minería del Uranio y otros elementos de interés nuclear, indemnizaciones civiles, subsidios de enriquecimiento (en las correspondientes líneas de reactores nucleares), etc.

C - "Beneficios Netos", que analiza las ventajas comparativas sobre la economía de otros recursos energéticos primarios o la incidencia sobre otros costos y que comprende:

- Competición, con otros recursos, en el impacto sobre el medio ambiente y en consecuencia en los costos asociados.
- Mejoramiento del "Mix" energético nacional o regional (disminución de los monopolios,

etc.).

- Mejoramiento en la disponibilidad de hidrocarburos para su industrialización, por la sustitución de éstos en la producción energética.
- Etc.

Dentro de los costos totales operativos de generación nucleoelectrónica ("costos comerciales"), se incluyen los siguientes componentes del mismo:

- Costo del capital para la instalación de las centrales nucleoelectrificadas.
- Costo del "Ciclo de Combustible" (desde la minería del Uranio hasta la gestión de los desechos).
- Costo de Operación y mantenimiento de las centrales nucleares.
- Costo de desmantelamiento de las centrales nucleares.

Los factores de riesgos financieros asociados a las inversiones en centrales nucleares, se traducen en onerosos costos de su capital, el cual tiene incidencia en la estructura económica de los respectivos proyectos, dependiendo fuertemente dichos costos de la situación geopolítica de la región, donde en general se penalizan en mayor grado estas inversiones que, por ejemplo, las correspondientes a centrales a carbón.

Dentro del estudio integral de la Economía Nuclear, es amplio el espectro de trabajos publicados, señalándose algunas referencias (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16).

Aunque este incremento del costo del capital en las inversiones de centrales nucleares tiene una incidencia desfavorable para la evaluación de los respectivos proyectos, dada su alta participación, la misma es compensada, al menos en parte, por el bajo precio del Uranio que se viene operando en los últimos años en el mercado correspondiente(2). De allí la importancia de una justipreciación integral y ponderada de estas inversiones, en función de los condicionamientos regionales que posee la Economía Nuclear.

Dentro de la estructura correspondiente a la Economía Nuclear, los "Costos Gubernamentales", resultan aún con mayor dependencia de la situación geopolítica.

A título ilustrativo en relación a la incidencia de estos costos en una región de alto desarrollo tecnológico como los Estados Unidos de América, donde se genera la mayor parte de la energía de este tipo en el mundo y donde también la industria privada aporta razonables recursos al área de investigación y desarrollo, no recayendo en el Estado todo el peso en este

concepto, los aportes federales ("Costos Gubernamentales") al desarrollo de la energía nuclear entre los años 1950 y 1979 y en dólares de este último año, insumieron aprox. dls. 35.000.000.000(2).

Estos aportes cubrieron, en dicho período, las áreas de:

Investigación y desarrollo.

- Trabajos destinados a la determinación de regulaciones nucleares para la protección pública de la salud y prevenciones de seguridad.
- Incentivación de la minería del Uranio.
- Subsidios en el enriquecimiento de Uranio.
- Indemnizaciones parciales a operadores de centrales nucleares.
- Investigación en biología y medicina nuclear.
- Desarrollos en técnicas aplicadas a la eliminación de residuos radiactivos.

Del total de estos aportes, en la referencia citada se discriminan aquellos con incidencia en programas que beneficiaron directamente a las plantas de generación nucleoelectrificadas y que resultaron de aprox. dls. 12.800.000.000, siempre en dólares del año 1979.

Otras fuentes(18) asignan para estos últimos aportes la suma de aprox. dls. 12.100.000.000 que razonablemente coinciden con los señalados precedentemente.

Estimaciones efectuadas sobre la incidencia de estos "Costos Gubernamentales" en el costo de KWh generado por centrales nucleares en los Estados Unidos de América y en el período considerado de 1950 a 1979, representa un

importe de $0,85 \frac{\text{mills}}{\text{KWh}}$ (2).

Esta referencia no debe ni puede ser extrapolable a otras regiones del orbe, en razón de los distintos condicionamientos geopolíticos comentados.

Es decir el valor de la incidencia de los "Costos Gubernamentales" en el costo del KWh de la energía generada por centrales nucleoelectrificadas señalada precedentemente a título ilustrativo, es sólo y solamente válido para los Estados Unidos de América y dentro de la política de participación federal desarrollada por ese país (condición geopolítica) y en el período considerado de 1950-1979 (condición temporal).

Otras referencias tratan el tema de los aportes gubernamentales de diversos ángulos y diferentes enfoques(19) (20) y cuyo análisis escapa al objetivo del presente trabajo.

En el análisis de los "Beneficios Netos" según

ESTRUCTURA ESQUEMATICA DE LA ECONOMIA NUCLEAR INTEGRAL DE LAS CENTRALES NUCLEARES PARA LA DETERMINACION DEL COSTO DE LA ENERGIA GENERADA	
DESAGREGACION	COMPONENTES PRINCIPALES DEL COSTO DE GENERACION
I-"COSTOS COMERCIALES"	I.1-COSTOS DEL CAPITAL DE INSTALACIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEOELECTRICAS I.2-COSTOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE (DESDE EXPLOTACIÓN MINERA HASTA LA GESTIÓN DE LOS DESECHOS) I.3-COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES I.4-COSTOS DE DESMANTELAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES
II-"COSTOS GUBERNAMENTALES"	II.1-APORTES A INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN LABORATORIOS Y PLANTAS GUBERNAMENTALES II.2-APORTES A TRABAJOS SOBRE REGULACIONES NUCLEARES PARA PROTECCIÓN PÚBLICA DE LA SALUD Y PREVENCIÓNES DE SEGURIDAD II.3-APORTES A LA INCENTIVACIÓN DE LA MINERÍA DEL URANIO II.4-SUBSIDIOS A LOS COSTOS DE ENRIQUECIMIENTOS DE URANIO (CUANDO CORRESPONDA) II.5-INDEMNIZACIONES CIVILES A OPERADORES DE CENTRALES NUCLEARES II.6-COSTOS DE DESARROLLO EN TECNICAS APLICADAS A LA ELIMINACIÓN DE DESECHOS
III-"BENEFICIOS NETOS" (ANÁLISIS DE VENTAJAS COMPARATIVAS)	III.1-IMPACTO ECOLÓGICO III.2-PARTICIPACIÓN EN EL "MIX" ENERGÉTICO III.3-SUSTITUCIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS INDUSTRIALIZABLES

FIG:6

la estructura indicada, cobra relevante importancia el estudio comparativo de costos-beneficios entre la generación eléctrica por medio de centrales nucleares y las correspondientes a carbón, en razón de su función competitiva en la sustitución, hacia fines de siglo, de las fuentes de hidrocarburos, según el escenario indicado anteriormente.

Independientemente de las situaciones competitivas entre la generación nucleoelectrónica y la correspondiente a centrales a carbón en el área de "Costos Comerciales", en lo referente al impacto sobre el medio ambiente de estos dos tipos de generación, la bibliografía indica que ambas no tienen gran incidencia sobre los cambios en el medio ambiente y que puedan modificar la ecología regional. Tampoco existe entre ellas, una marcada diferencia de ventajas comparativas, en razón de la alta tecnología desarrollada en relación a las técnicas aplicadas para salvaguardar las condiciones ecológicas en las regiones de emplazamiento de dichos centros de producción energética(21).

Otros trabajos asimismo tratan los aspectos competitivos de ambas opciones en la generación de energía eléctrica, tanto en su impacto ecológico como así también económico (13) (22).

Mientras que los "Costos Comerciales" y "Costos Gubernamentales" pueden ser incorporados sin mayores problemas a la estructura de costos de la energía nucleoelectrónica y a través de programas convenientemente implementados al respecto, la incidencia en dicha estructura de aquellos asociados con los "Beneficios Netos", resultan de difícil cuantificación, en razón de los condicionamientos geopolíticos y sociales que a nivel regional inciden en su evaluación.

En resumen, en fig. 6 se esquematiza la estructura de costo de una "Economía Nuclear Integral" aplicada a centros de producción nucleoelectrónica, y cuyo objetivo principal, en el orden comercial, es la real determinación del precio de la energía generada y donde la economía del Ciclo de Combustible forma parte de él como integrante de su estructura.

La desagregación del costo de generación nucleoelectrónica e inclusión en el mismo de los componentes económicos señalados en la figura, depende fundamentalmente de las políticas regionales desarrolladas.

La matriz indicada en la fig. 6 en cuestión, contempla un amplio espectro que abarca a todos los tipos de centrales nucleares en operación comercial y hasta fines de siglo, la cual

debe ser tenida en cuenta en todo análisis que, a niveles nacionales, se realicen sobre los costos de generación nucleoelectrónica.

En muchos casos es distinto el enfoque que se da a la determinación de dichos costos por parte de los propietarios u operadores de centrales, donde generalmente se hacen incidir solamente los "Costos Comerciales" (y no todos ellos).

En los eventos señalados precedentemente, debería otorgarse a dichos "Costos Gubernamentales" no considerados —o "costos ocultos" como lo denomina la terminología especializada—, un tratamiento correspondiente a niveles de programas nacionales, contribuyendo su correcta contabilización al ordenamiento de las economías regionales, donde sus efectos se manifestarán en mayor grado, a medida que la componente de energía nucleoelectrónica vaya creciendo en el mercado correspondiente.

Como se observa, la mayor bibliografía existente y consultada respecto a la economía en la generación nucleoelectrónica y su relación competitiva respecto a otros recursos primarios —como el carbón—, están centrados en los Estados Unidos de América, donde se cuentan con abundantes y económicas disponibilidades carboníferas.

En general, y de acuerdo a la bibliografía señalada no existe, en dicho país, una marcada diferencia, bajo el punto de vista económico, entre la opción de generación nuclear y a carbón y siempre enmarcando en el contexto geopolítico donde se efectuó el estudio.

En otras regiones del orbe, si bien la estructura de costos sumariamente analizada anteriormente es aplicable ("Costos Comerciales" y "Costos Gubernamentales"), los niveles relativos de los componentes de dicha estructura pueden variar sustancialmente de región en región y condicionado a la situación económica de las mismas.

Para una misma región donde los componentes de evaluación económica correspondiente a los "Costos Comerciales" no reflejan una marcada diferencia, cobran importancia aquellos parámetros definidos como "Beneficios Netos", los cuales también tienen cierta influencia y matiz regional (nivel de exigencia de requerimiento sobre regulaciones de seguridad, aceptación por parte de la comunidad, grado de interferencia de los movimientos ecológicos, etc.).

En relación a otras regiones del mundo, se revista sumariamente algunos trabajos existentes al respecto.

Estudios realizados por Ontario Hydro

Quebec en el Canadá en 1980(2), determinaron que los costos de generación nuclear se encontraban por debajo de aquellos correspondientes a centrales a carbón.

El estudio comparativo señalado, realizado entre 2 unidades de 750 MW, no consideraban los costos correspondientes al desmantelamiento de las plantas, remoción de SO₂ en el caso de central a carbón, como así tampoco los correspondientes a la disposición final de los elementos combustibles "quemados".

Otros estudios más recientes de la Ontario Hydro(61) sobre costos proyectados hacia fines de siglo, asimismo otorgan ventajas económicas en la generación nucleoelectrónica sobre la de carbón.

También estudios presentados en el VI Simposio Anual del Instituto del Uranio(23), efectúan una comparación de costos de generación entre centrales nucleoelectrónica de 1.000-1.300 MWe (PWR) y a carbón de 600 MWe y referidas a unidades de moneda corriente europea (EUC) valor de 1-1-1981.

Los correspondientes resultados arrojan un ligero menor costo para la generación nuclear, incluyendo en los cálculos respectivos, los costos de "reprocesamiento", eliminación de desechos y desmantelamiento de planta. Asimismo se incluye el crédito del plutonio obtenido para su utilización en los reactores rápidos.

En Japón la "Agencia para los Recursos Naturales y Energéticos" supone, en la fecha de realización del estudio, una posible pérdida de las ventajas económicas de las centrales nucleares debido a los costos de: desmantelamiento, "reprocesamiento" y eliminación de desechos(24).

El mismo informe, no obstante, señala un leve menor costo de generación en 1985 para la opción nuclear en comparación con centrales de carbón y petróleo correspondientes, pero sin considerar los 3 factores señalados, y de los cuales al presente no se tiene, a nivel mundial, una razonable experiencia operacional industrial y dentro de esquemas comerciales.

También un reciente estudio de la Electricité de Francia (EDF'S Office of General Economic Studies) (56), efectuó una proyección de costos comparativos entre generación nuclear, carbón e hidrocarburos, arrojando en general resultados más económicos para la opción nuclear.

El citado estudio indica un costo del KWh en borne de barra para 1992 de:

- 0,191 - 0,193 Fs. Fs. (valor 1.1.82) en generación nuclear para centrales PWR.
- 0,335 Fs. Fs. en generación a carbón (incluido remoción S₂).

- 0,699 Fs. Fs. en generación a petróleo (incluido remoción S20).

Estimaciones llevadas a cabo en 1980 por la citada compañía para 1990, indicó un costo para el KWh, en bornes de barra, de:

- 0,178 Fs. Fs. (valor enero 1982) en generación nuclear.

- 0,312 Fs. Fs. en generación a carbón.

Los cálculos correspondientes fueron basados en una inflación anual del 9%, una relación Fs. Fs./dólar = 6 y una vida útil de planta de 21 años para las Centrales Nucleares y 25 años para Centrales con Combustible fósil.

Las proyecciones asumen una operación anual de 8.760 horas, efectuándose también los cálculos basados en operaciones por debajo de 8.760 horas anuales y bajo ciertas condiciones del costo de capital y combustible.

Para un escenario de 4.000 horas anuales:

Costo de KWh en generación nuclear = 0,331 - 0,334 Fs. Fs.

Costo de KWh en generación a carbón = 0,446 Fs. Fs.

Costo de KWh en generación a petróleo = 0,789 Fs. Fs.

Para 2.000 horas anuales:

Costo KWh en generación nuclear = 0,607 - 0,611 Fs. Fs.

Costo KWh en generación a carbón = 0,681 Fs. Fs.

Costo KWh en generación a petróleo = 1 Fs. Fs.

Entre 400 horas, 2.000 horas, la generación a carbón, según el citado estudio, es más económica que la nuclear y turbina a gas.

También el estudio estima el costo de insta-

lación para los tres tipos de centrales:

Nuclear: 970 DLS/KW para unidad de 1.300 MW (con una hipótesis de 3 unidades por año).

Carbón: 720 DLS/KW para unidad de 600 MW (con hipótesis de 3 unidades por año).

Petróleo: 605 DLS/KW para unidad de 600 MW (con hipótesis de 2 unidades por año).

Por otra parte en el citado informe también se evalúa el costo del Ciclo de Combustible proyectado a 1992, estimándose en 0,0529 Fs. Fs. por KWh, según se considere o no el crédito del plutonio generado.

La estructura de costo del Ciclo de Combustible en el KWh, considerando el costo de las etapas industriales del citado Ciclo e indicadas en el informe, es la siguiente: 1

Si analizamos en más detalle el Uranio recuperado del reprocesamiento, en el "reciclado" del mismo, el crédito puede ser distribuido, entre las etapas donde interviene, en la siguiente proporción:

Crédito de Uranio = $0,0037 \frac{\text{Fs. Fs.}}{\text{KWh}}$

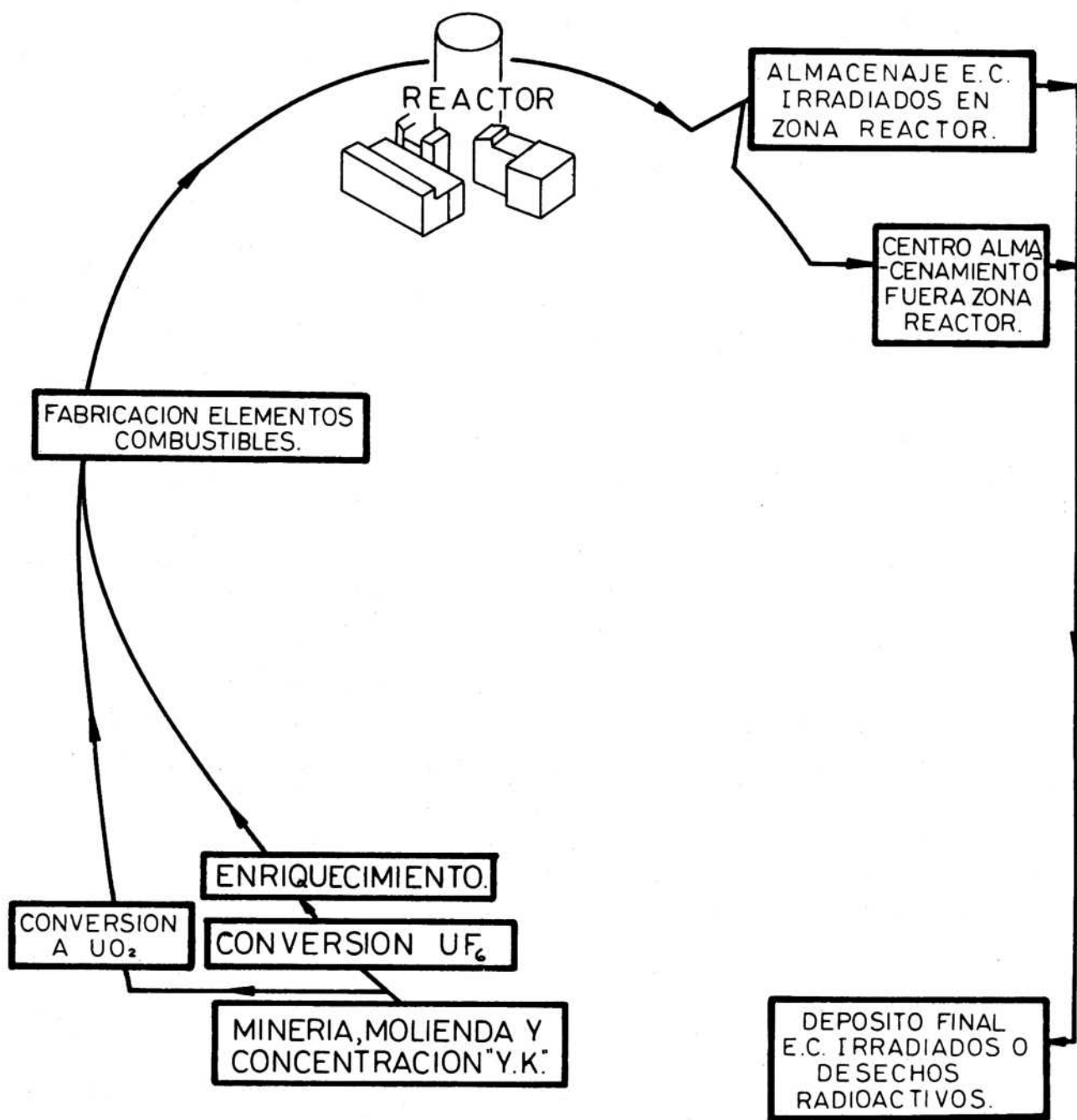
Concentrado (86%) = 0,0032 Fs. Fs./KWh

Conversión (3%) = 0,0001 Fs. Fs./KWh

Enriquecimiento (11%) = 0,0004 Fs. Fs./KWh

Quedando en consecuencia la estructura de costo del "Ciclo de Combustible", considerando el reciclado de Uranio, de la siguiente forma: 2

1 Concentrado	$\frac{\text{Fs.Fs.}}{\text{KWh}}$	0,231 (41%)	
Conversión a F6U	"	0,0011 (2%)	
Enriquecimiento	"	0,0142 (25%)	
Fabricación de los Elementos Combustibles	"	0,0049 (9%)	
Reprocesamiento	"	0,0133 (23%)	0,0566 (100%)
Crédito del uranio	"	0,0037 (-6%)	0,0529
Crédito del Plutonio	"	0,0022 (-3,8%)	0,0507
2 Concentrado (0,0231 - 0,0032)	$\frac{\text{Fs. Fs.}}{\text{KWh}}$	0,0199	(37,6%)
Conversión F6U (0,0011 - 0,0001)	= "	0,0010	(1,9%)
Enriquecimiento (0,0142 - 0,0004)	= "	0,0138	(26,1%)
Fabricación de los E. Combustibles	= "	0,0049	(9,3%)
Reprocesamiento	= "	0,0133	(25,1%)
Crédito del Plutonio	= "	0,0022	0,529 (100%)



CICLO COMBUSTIBLE ABIERTO.

FIG. 7.

Se destaca nuevamente que los valores obtenidos en los cálculos del "Ciclo de Combustibles", son valederos dentro de las condiciones del entorno regional donde se realizó el estudio (geopolítico) y tiempo en el cual tuvo lugar (temporal), siendo incorrecta su extrapolación a otras regiones y diferentes épocas, en virtud de las fuertes variaciones que existen entre los parámetros de evaluación utilizados (en general los correspondientes a "Costos Comerciales").

Esta situación acentúa la influencia de aquellos parámetros definidos como "Beneficios Netos", los cuales también imponen condiciones de orden regional como se señalará anteriormente (mínimos requerimientos sobre regulaciones de seguridad, niveles de aceptación comunitarios, grado de interferencia de movimientos ecológicos, etc.).

IV CICLO COMBUSTIBLE

Ubicada la economía del "Ciclo de Combustible" dentro de la "Economía Nuclear Integral" de las centrales nucleares con reactores térmicos y tratada precedentemente en forma resumida, se analizará en mayor profundidad dicho ciclo a través del cual se desarrolla la política regional de los suministros nucleares, con directa incidencia en el mercado de elementos combustibles y dentro de las leyes económicas que deben regir la interrelación de las etapas operativas componentes del mencionado Ciclo.

Basado en la definición del "Ciclo de Combustible" indicada en el capítulo III, existen 2 formas de estructurar el mismo:

— El llado "Ciclo de Combustible Abierto" fig. 7, que considera las etapas en la cual evoluciona el "material fisionable (U 235)", desde la exploración y extracción del mineral que lo contiene, hasta la eliminación del mismo luego de cumplir con su servicio nuclear en el reactor y "sin reprocesamiento" de los elementos combustibles que contiene a dicho material fisionable.

El llamado "Ciclo de Combustible Cerrado", fig. 8, que considera las mismas etapas del ciclo abierto, pero con "Reprocesamiento" de los "Elementos Combustibles agotados", con el objeto de extraer el plutonio generado durante el "Proceso de Fisión" y consecuentemente reciclar éste en el sistema, mediante la fabricación de nuevos elementos combustibles con material fisionable compuesto por óxidos mixtos de Uranio y Plutonio y aumentar así el rendimiento económico de dicho sistema.

Asimismo en ambos "Ciclos", se consideran

las etapas correspondientes a la evolución del material fósil para reactores de Uranio enriquecido y Uranio natural (que incluyen o no la etapa de "enriquecimiento").

El estudio del "Ciclo de Combustible" comprende la evolución técnico-económica de los centros de producción industrial que componen cada etapa del mismo y los cuales deben poseer una adecuada interrelación que minimize la ecuación económica del sistema.

Dos factores de importancia a considerar en la evaluación del Ciclo, lo constituyen:

- a) Los requerimientos de material fisionable demandado por el mercado (función de la energía nucleoelectrónica consumida).
- b) La capacidad de los centros de producción industrial de las etapas propiamente dichas del Ciclo de Combustible donde evoluciona dicho material fisionable, además de la capacidad de aquellos centros que prestan sus servicios al mencionado Ciclo (por ejemplo los correspondientes al suministro de aleaciones especiales para vainas de elementos combustibles y piezas estructurales, insumos especiales, etc.).

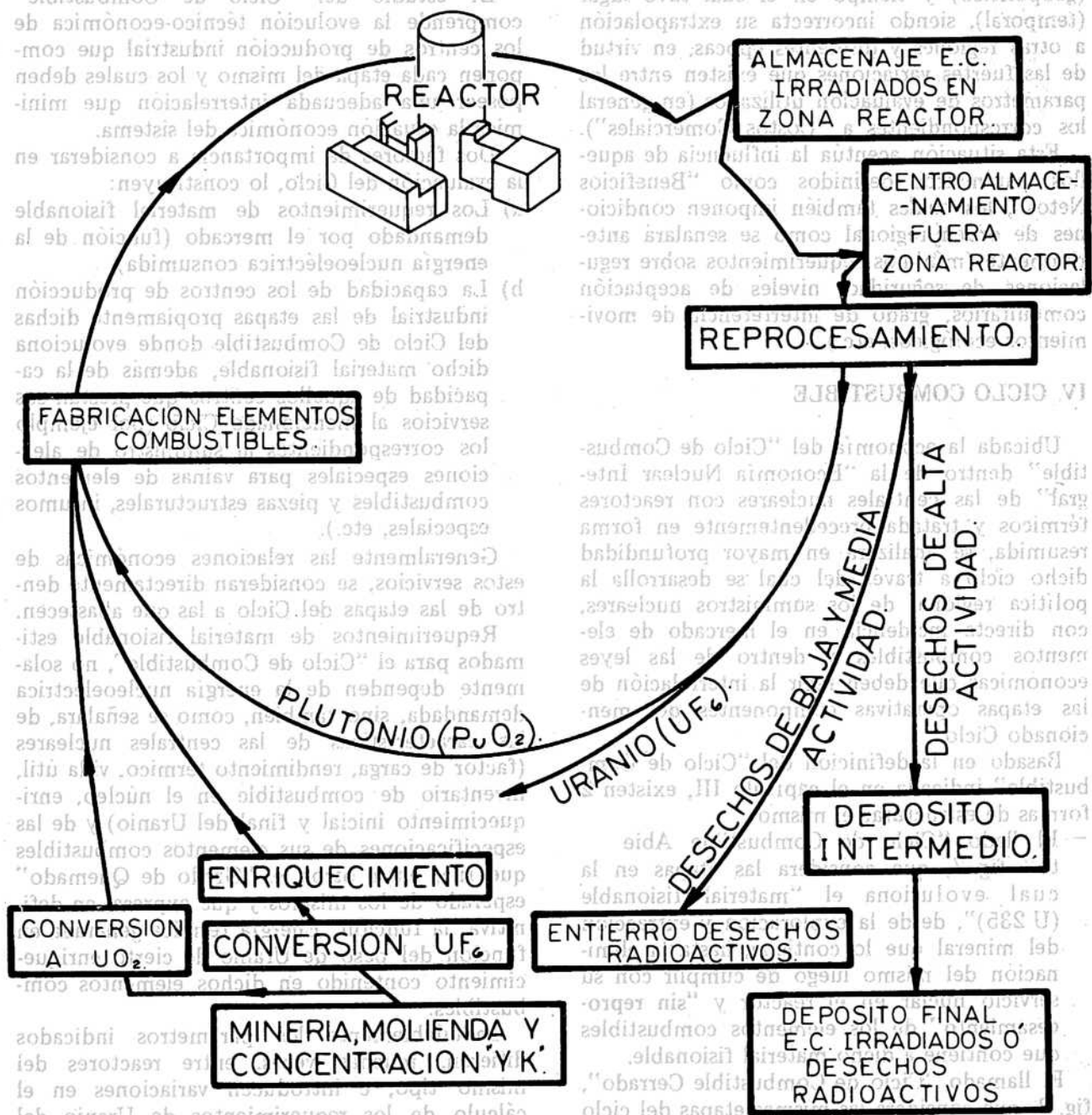
Generalmente las relaciones económicas de estos servicios, se consideran directamente dentro de las etapas del Ciclo a las que abastecen.

Requerimientos de material fisionable estimados para el "Ciclo de Combustible", no solamente dependen de la energía nucleoelectrónica demandada, sino también, como se señalara, de las características de las centrales nucleares (factor de carga, rendimiento térmico, vida útil, inventario de combustible en el núcleo, enriquecimiento inicial y final del Uranio) y de las especificaciones de sus elementos combustibles que fija, entre otros, el "Grado de Quemado" esperado de los mismos y que expresa, en definitiva, la función: Energía térmica generada en función del peso de Uranio de cierto enriquecimiento contenido en dichos elementos combustibles.

Indudablemente los parámetros indicados difieren, muchas veces, entre reactores del mismo tipo, e introducen variaciones en el cálculo de los requerimientos de Uranio del Ciclo cuando se efectúan estimaciones sobre poblaciones de centrales a las cuales se les asigna una misma característica.

Para poder ensayar cifras estimativas sobre los requerimientos de material fisionable para el "Ciclo de Combustible", se toman características promedio de centrales con valores conservativos dadas por la bibliografía.

Al respecto se tienen en cuenta, en la fijación de características aplicables a poblaciones



CICLO COMBUSTIBLE CERRADO.

FIG. 8.

CARACTERISTICAS PROMEDIO DE REACTORES TERMICOS DE CENTRALES NUCLEARES EN OPERACION

TIPO DE REACTORES	FACTOR DE CARGA	VIDA DEL NUCLEO	INVENTARIO DEL COMBUSTIBLE EN EL NUCLEO	ENRIQUECIMIENTO DEL COMBUSTIBLE	
				INICIAL	RECARGA
	%	AÑOS	TU/MWE	%	%
AGC	60	6,21	0,183	1,6	2,3
BWR	60	5,51	0,129	2,07	2,60
PWR	60	3,62	0,07906	2,14	3,0
GGR	60	4,49 - 7,21	0,916 - 1,78	0,711	0,711
HWR	70	0,6 - 2,38	0,13 - 0,247	0,711	0,711

FUENTE: ADAPTADO DEL "GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING," INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981

FIG: 9

de centrales del mismo tipo, aquellas cifras o condiciones basadas en promedios tomados de unidades en operación.

En fig. 9 se muestran valores promedios de algunas características de centrales nucleares de potencia, equipadas con reactores térmicos, que permitan deducir cifras de necesidades de material fisionable para el "Ciclo de Combustible".

Los valores adoptados para los factores de carga, son aquellos mencionados en la "Nuclear Engineering International" pág. 42, marzo 1981.

Estos valores de factor de carga asumidos son relativamente bajos respecto a estimaciones efectuadas por muchas organizaciones, pero resultan realistas comparados con la experiencia de centrales en operación.

Tomando, por ejemplo, los factores de carga promedio obtenidos en centrales nucleares en los Estados Unidos de América —país de significativa generación nucleoelectrónica—, la bibliografía indica factores de carga anuales promedio que no superan prácticamente el 60% en

el período 1973 a febrero 1982 (salvo 1973 63,2%; 1977: 62,9% y 1978: 63,9%) (25) (26) (27).

La vida útil del núcleo es calculada en función del factor de carga, el inventario de combustibles en el núcleo y el quemado esperado de los elementos combustibles.

En el caso de centrales BWR y PWR, los valores asumidos para el cálculo de la vida útil del núcleo son aquellos usados por el "INFCE" y para las centrales GGR y HWR corresponde a promedios ponderados de unidades en operación en los correspondientes países; asimismo los valores de enriquecimiento del combustible son datos de la OECD Nuclear Energy Agency(2).

Teniendo en cuenta la demanda de potencia nucleoelectrónica proyectada hasta fines de siglo y adoptada a los fines de este informe según fig. 1 y correspondientes a las obtenidas por la Interdevelopment Inc. (II edition):

Como así también las características de las centrales nucleares que abastecen a dicho mercado nucleoelectrónico y resumidas en fig. 9

REGION (2)	REQUERIMIENTO DE URANIO(1980-1998)
	T DE U x 1.000 (1)
AFRICA	4.0
ASIA	113.6
AUSTRALIA	0.5
EUROPA	301.3
AMERICA LATINA	14.3
AMERICA DEL NORTE	300.3
TOTAL	734.0

(1) FUENTE: "GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING" INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981

(2) NO SE INCLUYEN LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA NI LOS PAISES DEL CMEA. (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE)

FIG:10

además de atender a las condiciones operativas inherentes al "Ciclo de Combustible", en fig. 10 se indican los requerimientos mundiales de Uranio calculados que demandará el ciclo y discriminados por regiones(2).

Las estimaciones señaladas están basadas en:

- La inexistencia de pérdidas de uranio posterior a la etapa de concentración del mineral (+).
- La ausencia de reciclado de Plutonio y Uranio proveniente del reprocesamiento de elementos combustibles que cumplieron su servicio nuclear (-).
- La no consideración de Uranio como inventario de trabajo de nuevas plantas de enriquecimiento en el período considerado (+).
- La no introducción de significativos mejoramientos del diseño de los núcleos de reactores (-).
- La no introducción de técnicas para elevar el porcentaje de enriquecimiento de cola ("Tail Assay") en las plantas homónimas (+).

Se consideró, para el cálculo de los requerimientos de Uranio del Ciclo, un "Tail Assay" = 0,20%, esperándose en un futuro una elevación del mismo a 0,25% (+).

De no producirse los condicionamientos estipulados precedentemente y con los cuales se calcularon los requerimientos de Uranio para el "Ciclo de Combustible" a nivel mundial y en el período considerado, se manifestarían aumentos o disminuciones en dichos requerimientos, según lo indicado en cada una de las premisas basadas (+ = aumento; - = disminución).

Esta demanda de Uranio por parte del "Ciclo de Combustible" y destinada a satisfacer las necesidades del parque Nucleoeléctrico, establecerá una característica de significación en todo mercado y corresponde a la relación oferta/demanda de Uranio, de capital importancia en la regulación económica del mercado correspondiente.

V MERCADO DEL URANIO

La generación nucleoelectrica en el período comprendido hasta el año 2000, demandará el suministro de Uranio que se indica en fig. 10 y calculado para el parque de potencia instalada, de acuerdo al escenario dado por(2), como así también con los parámetros de funcionamiento de las centrales señalados en fig. 9.

Dicha demanda debe satisfacerse en el mercado mundial del Uranio, donde se establece como en todo mercado, la función oferta/demanda del mismo y dentro de un marco fuertemente condicionado, tanto política como estratégicamente.

Respecto a la tecnología del Uranio, resumidamente se señala que el mismo existe en la corteza terrestre con una abundancia geológica promedio de aprox 4 ppm, comparable a la correspondiente al Sn, W, Mo, Pb; 100 veces superior a la de la Ag y 1.000 veces a la del Au.

Sin embargo esta abundancia no posibilita formular conclusiones sobre las posibilidades y características de su explotación minera.

Existen 2 grupos definidos de depósitos de mineral de Uranio.

El primero formado por el magma granítico líquido, el cual transportó el Uranio de las regiones interiores de la tierra formando, por distintos mecanismos, depósitos de diferentes características y de alta concentración (con-

AÑOS	1980	1981	1985	1990	1995	2000
Potencia nucleoelectrica instalada (GWe)	113,180	134,274	229,180	318,018	372,968	419,781

nidos de hasta el 5% en peso), pero en cantidades muy limitadas.

El segundo grupo, más abundante, está formado por la erosión y sedimentación de rocas graníticas y volcánicas y caracterizado por bajos contenidos de Uranio (aprox. 0,3% en peso en promedio).

Teniendo en consideración:

- El estado actual de desarrollo tecnológico de la minería de Uranio empleada, así como de los procesos químicos-metalúrgicos para su transformación.
- La función económica establecida por la demanda del respectivo mercado.
- Las condiciones de la economía regional.

Los yacimientos de Uranio, en condiciones de explotación, deben tener concentraciones (o ley) de aproximadamente 250 veces su abundancia geológica promedio en la corteza de la tierra.

Estos factores de concentración comparables a los de otros elementos químicos, por ejemplo(28):

Para el Cu: concentrado aprox 95 veces su abundancia geológica.

Para el Zn: concentrado aprox. 600 veces su abundancia geológica.

Para la Ag: concentrado aprox. 3.000 veces su abundancia geológica.

nos indica que el Uranio no puede ser clasificado como un "elemento raro", denominación que en principio se le atribuyó en función de su muy limitado uso (material colorante en la industria del vidrio y la porcelana, refinación de aceros especiales, etc.) y previo al advenimiento de su aplicación nuclear en la generación de energía, como consecuencia del descubrimiento de la fisión nuclear por Otto Hahn y Fritz Strassmann en 1938 y construcción del primer reactor en 1942 por E. Fermi (el Uranio fue descubierto por Klaproth en 1789).

Las estimaciones de las "reservas" y "recursos uraníferos" están sujetas a considerables incertidumbres. El grado de incertidumbres dependen de la categoría en la cual se están considerando a las mencionadas reservas y recursos.

Con el objeto de normar en la materia y a fin de permitir la comparación de cifras sobre estimaciones uraníferas a nivel mundial, el D.O.E. de los Estados Unidos de América ha establecido categorías para la identificación y clasificación de los yacimientos de Uranio con probabilidades de explotación, definiendo:

A "RESERVAS": Son las cantidades estimadas de Uranio, las cuales se encuentran en

depósitos conocidos de un determinado grado, cantidad, configuración y profundidad que puedan ser obtenidos a un costo especificado o aún menor, según el estado del arte de la minería y procesos tecnológicos.

B "RECURSOS POTENCIALMENTE PROBABLES": Son aquellos estimados a encontrarse en áreas "productivas" de Uranio conocidas, en extensiones de depósitos conocidos o depósitos no descubiertos dentro de tendencias geológicas conocidas o áreas de mineralización (donde "productiva" significa aquellas áreas en las cuales, la producción obtenida hasta el momento, más las reservas conocidas, exceden las 10 t de U 238).

C "RECURSOS POTENCIALMENTE POSIBLES": Son aquellos estimados a encontrarse como depósito parcialmente definidos o no descubiertos en formaciones o asentamientos geológicos productivos en otro lugar dentro de la misma provincia o subprovincia geológica.

D "RECURSOS POTENCIALMENTE ESPECULATIVOS": Son aquellos estimados a encontrarse como depósitos no descubiertos o parcialmente definidos:

- en formaciones o asentamientos geológicos no previamente productivos dentro de una provincia o subprovincia geológica productiva.
- o dentro de una provincia o subprovincia no previamente productiva.

La IAEA y la Nuclear Energy Agency (NEA) perteneciente a la OECD, las cuales proporcionan estimaciones de recursos uraníferos mundiales (excluido los países de la República Popular de China y miembros del CMEA), utilizan categorías que son similares a las definidas precedentemente por la D.O.E. de USA.

Las equivalencias aproximadas entre las terminologías de las Organizaciones señaladas anteriormente y las del D.O.E. son(2):

"RECURSOS RAZONABLEMENTE ASEGURADOS" (de la IAEA y NEA) \cong A (de la DOE)

"RECURSOS ESTIMADOS ADICIONALES" (de la IAEA y NEA) \cong B (De la DOE)

"RECURSOS ESPECULATIVOS" (de la IAEA y NEA) \cong C+D (de la DOE)

Además de la clasificación existente para determinar y caracterizar los yacimientos uraníferos, según lo indicado precedentemente, cada una de estas clasificaciones están aún subdivididas en categorías económicas, de acuerdo de las cantidades de Uranio factibles de obtener a un dado costo.

De aquí la importancia de indicar, en las estimaciones sobre reservas y recursos uraní-

feros, además de la clasificación geológica del yacimiento, la categoría económica a la cual se encuentran obtenidas dichas estimaciones.

La clasificación adoptada en este trabajo toma las estimaciones sobre reserva y recursos uraníferos a valores de dls. 78/KgU y dls. 130/KgU (equivalente a dls. 30/lb y U308 y dls. 50/lb U308) por ser las más razonables a la fecha de las consultas bibliográficas.

Existen también otras categorías económicas de 39 dls./KgU y 260 dls./KgU (equivalente a 15 dls./lb U308 y 100 dls./lb U308).

Estas categorías (las de 15 30; 50 y 100 dls./lb U308), son las adoptadas por la DOE de USA y en consecuencia también por la IAEA y OECD.

Adicionalmente a la clasificación geológica indicada, el Uranio además puede ser obtenido como "subproducto derivado" de la producción del ácido fosfórico (37) y minería del cobre.

Debido a las muy bajas concentraciones en los minerales correspondientes (promedio aprox. 0,01% en peso, en rocas fosfáticas y menores a 0,005% en peso, en minerales de cobre), estas reservas de Uranio pueden ser explotadas en condiciones económicas pero juntamente con otros procesos(28).

Aunque se estiman en 10.000.000 de tU las reservas mundiales contenidas en rocas fosfáticas, solamente en USA se esperan explotar, hasta fines de siglo, aprox. 92.000 tU; también en los Estados Unidos de América, la recuperación de Uranio de minerales de cobre representarán acumulativamente y hasta la primera década del próximo siglo, aprox 15.000 tU(2).

Asimismo los yacimientos uraníferos en Sud Africa configuran una excepción a lo manifestado respecto a las bajas concentraciones de Uranio en las recuperaciones como "Subproducto derivado" de otros procesos. En esa región la mayor parte del Uranio es obtenido como un "subproducto derivado" de la minería del oro con relativamente razonables concentraciones o Ley (aprox 0,2%) (28).

Otra fuente de recursos uraníferos de muy baja concentración la constituye el mar (aprox 0,003 p.p.m.); estas reservas han sido estimadas en aprox 4.000.000.000 tU (2).

El estado actual de los trabajos de investigación y desarrollo de técnicas de obtención de Uranio del mar(29) y la demanda del mismo hacia fines del siglo, hacen impracticable a nivel comercial dicha explotación, a pesar de las inmensas reservas existentes en los océanos, no esperándose resultados industrializables du-

rante el período considerado.

La prospección y exploración de los minerales de Uranio, en razón de sus propiedades radioactivas, utilizan técnicas especiales para su localización y caracterización de los respectivos yacimientos.

Además de los estudios geológicos correspondientes, se emplean para las prospecciones y exploraciones:

Prospección aérea

- Técnicas fotográficas (color).
- Técnicas de imagen por satélite (landsat).
- Técnicas de detección radiométrica.

Evaluación a nivel superficie terrestre

- Estudios de suelos utilizando detección gamma.
- Mediciones geoquímicas de corriente acuíferas, sedimentos de lagos, etc.

Evaluación a niveles subterráneos

- Perforaciones y análisis usando detección gamma y otros instrumentos.

Los gastos de prospección y exploración resultan considerables y los mismos se encuentran contemplados dentro de los correspondientes a cada categoría económica definida con anterioridad, salvo aquellos que, sin incluirse en éstos, son considerados en los "gastos gubernamentales" o "costos ocultos" definidos y dentro de la estructura de "Economía Nuclear Integral" mencionada en el Capítulo III.

Estos gastos de prospección y exploración han tenido, en los últimos años y a nivel mundial, una tendencia declinante de los mismos y originados por la situación del mercado nucleoelectrónico, siendo ésta una etapa del Ciclo sensitiva a todo recorte presupuestario.

A título ilustrativo en fig. 11 se muestran, para aquellos países con un significativo volumen en el campo de la explotación minera, los presupuestos anuales volcados a su propia prospección y exploración.

Asimismo la bibliografía consultada indica los gastos que efectuaron países a través de compañías comerciales en la exploración del Uranio en el exterior durante el año 1978 y en función de suministros de servicios(2):

USA: dls. 37.000.000; FRANCIA dls. 36.900.000; REP. FED. DE ALEMANIA dls. 21.000.000; JAPON dls. 24.430.000.

También la Nuclear Energy Agency de la

ESTIMACION DE INVERSIONES EFECTUADAS POR PAISES EN SUS PROPIOS TERRITORIOS
EN LA PROSPECCION Y EXPLORACION MINERA DEL URANIO

PAIS	AÑO					
	1977	1978	1979	1980	1981 (1)	1982 (1)
	DLS X 10 ⁵	DLS X 10 ³	DLS X 10 ³	DLS X 10 ³	DLS X 10 ³	DLS X 10 ³
USA			315.910	273.560	206.000	157.000
CANADA		78.000				
BRASIL		29.300				
FRANCIA		26.700				
SUB AFRICA		24.567				
AUSTRALIA	18.000					

DOLARES CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS FISCALES
ESTIMADOS

FUENTE: "GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING", INTERDEVELOPMENT INC., 11 EDITION
NOV. 1981

FIG: 11

OECD y la IAEA, manifiestan una disminución en los gastos de exploración contabilizados a nivel mundial(30):

- Total para 1979 en 32 países ascendió a dls. 610.000.000, aunque indica que existen informaciones que hacen ascender dichos gastos a dls. 705.000.000.
- Asimismo predice que las cifras finales para 1981, a nivel mundial se encontrarán entre dls. 400.000.000 y dls. 500.000.000 donde el mayor decrecimiento corresponde a los programas de exploración de USA, cayendo en un 30% el número de metros de perforación entre 1979 y 1980 y 20% los correspondientes gastos, con un aumento del 12% en los costos de dicha perforación.

Dentro de los países latinoamericanos, la citada bibliografía indica un gran crecimiento en términos relativos en los gastos de exploración efectuados en México, donde de aprox dls. 2.000.000 en 1979, se pasaron a dls. 5.000.000 en 1980 y estiman que ascenderán a cerca de dls. 10.000.000 en 1981.

También Brasil, a través de la "Compañía de Pesquisas de Recursos Minerais", ha intensificado los correspondientes trabajos de exploración, particularmente en el exterior y en países del Tercer Mundo, con inversión de gastos de dls. 15.000.000 en 1982(31).

De acuerdo a lo expresado con anterioridad

y adoptando un escenario mundial nucleoelectrico realista según cifras que se comparan en fig. 1, en fig.10 se indican los correspondientes requerimientos de Uranio para satisfacer dicha demanda nucleoelectrica y discriminada regionalmente.

Se recuerda que los requerimientos indicados fueron basados en el real consumo de Uranio de las centrales nucleares en operación y aquellos que estarán en funcionamiento hasta fines de siglo, significando que se consideran a dichas centrales equipadas con reactores térmicos en su casi totalidad, destacando asimismo que el escenario adoptado corresponde a todos los países del mundo, excluido la República Popular de China y los países de CMEA, por así indicarlo la bibliografía consultada.

En fig. 12 se señalan los recursos uraníferos a nivel mundial y discriminado también por regiones y atendiendo a la clasificación geológica y categorías económicas de los yacimientos definidos por el DOE de USA, así como la NEA de la OECD y la IAEA(2) (32).

En el marco de considerar cifras realistas, se han tabulado solamente los recursos probables y de un costo de explotación compatible con un estado normal de las economías regionales, situación que sin embargo al presente no se cumple, en virtud de la actual crisis mundial y que se encuentra agravada en unas regiones más

ESTIMACIONES DE LAS RESERVAS MUNDIALES DE URANIO
(EXCLUIDOS LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA Y LOS PAISES DEL CMEA)

REGION	TU x 1000			
	RAZONABLEMENTE ASEGURADAS		ADICIONALES ESTIMADAS	
	DE 78 DLS/KGU	DE 130 DLS/KGU (1)	DE 78 DLS/KGU	DE 130 DLS/KGU (1)
AMERICA DEL NORTE	746	970	1.143	1.902
AFRICA	609	776	139	263
AUSTRALIA	290	300	47	53
EUROPA	68	419	50	114
ASIA	40	46	1	24
AMERICA LATINA	103	108	101	107
TOTAL MUNDIAL	1.856	2.619	1.481	2.463

FUENTE: ADAPTADA DE TABLA B-2 DEL STATISTICAL DATA OF THE URANIUM INDUSTRY, GJO-100 (81). ENERO 1981.

(1) INCLUIDAS LAS RESERVAS DE 78 DLS/KGU

FIG: 12

que en otras.

La comparación efectuada entre demanda y recursos de Uranio existentes a niveles regionales y tomadas de las tablas de fig. 10 y 12, se visualiza en conjunto en tabla de fig. 13.

Del análisis de dicha tabla y considerando la oferta de Uranio de mejor probabilidad de obtención y correspondientes a aquellas "Razonablemente Aseguradas", además de tenerse en cuenta también una probable disminución de la producción por agotamiento o cierre de minas que se tornan antieconómicas, se concluye que pueden satisfacerse los requerimientos de Uranio a nivel mundial para el "Ciclo de Combustible" pronosticados hasta fines de siglo y avanzando el próximo, dentro del escenario nucleoelectrico presentado.

Es decir, en relación a las etapas del Ciclo que abarcan desde la minería del Uranio hasta

la producción de "Concentrado", se poseen, a nivel mundial, abundantes reservas uraníferas que superan holgadamente la demanda exigida por el parque nucleoelectrico en el período 1980-1998, con la existencia de un desbalance regional en la función demanda/recursos, según las siguientes particularidades:

- Africa y Australia deben exportar todo su Uranio y continuarán haciéndolo por muchos años.
- Asia y Europa se encuentran fuertemente dependientes de la importación de Uranio y esa dependencia irá en crecimiento, lo que induce, entre otros factores, a la implementación de políticas que favorecen el reprocesamiento industrial de elementos combustibles y consecuente explotación de reactores reproductores (Breeder).
- América Latina y América del Norte poseen

REGION	REQUERIMIENTOS DE URANIO (1980-1998) tU x 1.000	ESTIMACIONES DE LAS RESERVAS MUNDIALES DE URANIO (EXCLUIDOS LA REPÚBLICA POPULAR DE CHINA Y LOS PAISES DEL CMEA)			
		tU x 1.000			
		" RAZONABLEMENTE ASEGURADAS "		" ADICIONALES ESTIMADAS "	
		DE 78 DLS/KGU	DE 130 DLS/KGU ⁽¹⁾	DE 78 DLS/KGU	DE 130 DLS/KGU ⁽¹⁾
AMÉRICA DEL NORTE	300.3	746	970	1.143	1.902
AFRICA	4.0	609	776	139	263
AUSTRALIA	0.5	209	300	47	53
EUROPA	301.3	68	419	50	114
ASIA	113.6	40	46	1	24
AMÉRICA LATINA	14.3	103	108	101	107
TOTAL MUNDIAL	743.0	1.856	2.619	1.481	2.463

(1) INCLUIDAS LAS RESERVAS DE 78 DLS/KGU

FIG:13

cómodas reservas para su demanda, que le permite un exceso para exportación en particular América Latina y esta situación alternativa crecerá a medida que se intensifique la explotación de nuevas minas de Uranio y plantas de procesamiento del mineral.

La misma estructura de mercado y desbalan-

ce regional se repite si se compara la capacidad de producción de Uranio con la demanda exigida por las centrales nucleares en el año 1981, según surge de la tabla de fig. 14(2).

Observando los requerimientos anuales de Uranio a nivel mundial en el período 1980-1999, según tabla de fig. 15(2), se desprende que en dicho período la capacidad de producción mundial para 1981 indicada en fig. 14 (52.890 tU) supera la demanda anual de cualquiera de los años considerados entre 1980-1998, siempre considerando un escenario nucleoelectrico como el presentado por la figura 1 en su fuente "Guide por Marketing and Strategic Planning. Interdevelopment Inc. II Edition".

Si se analizan los restantes escenarios nucleoelectricos de mayor potencialidad señalados en fig. 1, también los mismos podrán abastecerse de Uranio y sobre todo teniéndose en consideración las estimaciones de recursos de las otras categorías geológicas no tomadas en cuenta para este trabajo, dado el mayor costo de ex-

plotación que al presente resultan y los cuales no son compatibles con los actuales niveles económicos del respectivo mercado.

Asimismo se significa que no se considera el factor multiplicador, en el rendimiento del Uranio, que puede constituir la introducción, en el parque nucleoelectrico, de los reactores "breeder", por no estimarse probable su operación a niveles comerciales y con importante incidencia en dicho parque nucleoelectrico hasta fines de siglo, en base a las consideraciones oportunamente indicadas.

Tampoco se tiene en cuenta el posible reciclado, en forma de óxidos mixtos UO_2 - PuO_2 del plutonio obtenido por reprocesamiento de los combustibles de reactores térmicos, del cual existirán importantes inventarios hacia fines de siglo.

Adicionalmente a las reservas señaladas en Tabla de fig. 12 ("Razonablemente Aseguradas" y "Adicionales Estimadas") la IAEA/NEA indica, para aquellos recursos definidos como "Especulativos", una estimación mundial de 6,6 a 14,8 millones de tU (2) (excluidos los países del COMECON y la República Popular de China).

Para los países del COMECON y la República Popular de China, las estimaciones totales ("Razonablemente Aseguradas" + "Adicionales Estimadas" + "Especulativas"), resultan entre 3,3 y 7,3 millones de tU (2).

DEMANDA MUNDIAL DE URANIO Y CAPACIDAD DE PRODUCCION PARA 1981

REGION	DEMANDA PARA 1981	CAPACIDAD DE PRODUCCION A FIN DE 1981
	TU x 1000	TU/AÑO x 1000
AFRICA	0,28	16,47
ASIA	2,63	0,24
AUSTRALIA	-	3,54
EUROPA	9,90	4,30
AMERICA LATINA	0,04	0,75
AMERICA DEL NORTE	11,17	27,59
TOTAL MUNDIAL	24,02	52,89

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING, INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981

NO SE INCLUYEN LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA NI LOS PAISES DEL CMEA (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE)

FIG:14

Esta situación oferta/demanda de Uranio que se produce en el mercado mundial, favorece la

REQUERIMIENTOS ANUALES DE URANIO A NIVEL MUNDIAL EN EL PERIODO 1980-1999					
AÑO	ANUAL	ACUMULADO	AÑO	ANUAL	ACUMULADO
	TU/AÑO x 1000	TU/AÑO x 1000		TU/AÑO	TU/ x 1000
1980	20.78	20.78	1990	41.76	359.9
1981	24.02	44.80	1991	41.80	401.8
1982	29.52	74.32	1992	43.82	445.6
1983	27.15	101.5	1993	45.95	491.5
1984	32.94	134.4	1994	46.62	538.1
1985	33.79	168.2	1995	47.46	585.6
1986	34.49	202.7	1996	49.00	634.6
1987	36.57	239.2	1997	49.52	684.1
1988	39.75	279	1998	49.94	734.0
1989	39.14	318.1	1999	48.29	782.3

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING, INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981.

FIG:15

competición del producto incidiendo en el precio del mismo, con fuertes rebajas operadas en los últimos años, como así también la consiguiente suspensión de la explotación de minas que resultan antieconómicas y sin entrar a considerar las condiciones de contorno geopolítico que rodean al mercado en cuestión.

Tres variables de importancia intervienen temporalmente para cada región de este mercado del Uranio (excluyendo aquellas variables de orden geopolítico):

A = demanda de Uranio del mercado, proyectada en un cierto período

B = inventario del Uranio ya explotado y existente en cierto momento en el mercado en poder de distintos poseedores.

C = capacidad anual de producción de Uranio de los respectivos centros de explotación del mercado.

La relación de estas variables temporales, para cada región del mercado, provee una determinada indicación sobre el desarrollo del mismo y con directa incidencia en la oferta/demanda del producto, como así también de su precio.

Por ejemplo, tomando una región de impor-

INVENTARIO DE URANIO EN USA A FINES DE 1981 (NO SE CONSIDERA EL URANIO POSEIDO POR ORGANIZACIONES NO PERTENECIENTES A USA)	
ESTADO Y LUGAR	TONELADAS EQUIVALENTE DE U NATURAL
URANIO NATURAL DE PROPIEDAD DEL DOE EN LAS PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO	15,800
URANIO ENRIQUECIDO DE PROPIEDAD DEL DOE EN LAS PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO	47,200
URANIO NATURAL DE PROPIEDAD DE LOS USUARIOS EN LAS PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO	7,780
URANIO ENRIQUECIDO DE PROPIEDAD DE USUARIOS EN LAS PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO	2,390
URANIO NATURAL DE PROPIEDAD DE LOS USUARIOS FUERA DE LAS PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO	30,520
URANIO ENRIQUECIDOS DE PROPIEDAD DE USUARIOS FUERA DE LAS PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO	14,080
URANIO NATURAL DE PROPIEDAD DE LOS PRODUCTORES	2,080
TOTAL	119,850

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING, INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981

FIG:16

tancia en la generación nucleoelectrica, como lo constituye los Estados Unidos de América, y se analiza el respectivo mercado con una proyección de 10 años, se tiene(2):

- A = Demanda estimada de Uranio para su parque nucleoelectrico, según la referencia(2) y en el período 1980-1989 = 140.000 tU
- B = Inventario de Uranio en el mercado a fines de 1980 = 119.850 tU (fig. 16)
- C = Capacidad anual de producción de Uranio del mercado a fines de 1981 = 18.100 tU/año (fig. 17)

Las cifras indicadas definen a un mercado poseedor de una moderada demanda en comparación a un alto inventario y fuerte oferta, situación ésta que en los últimos tiempos se vio reflejada con una abrupta caída de los precios del Uranio a partir de 1980 y que fue precedido de un considerable incremento de los mismos entre 1972 y 1978.

Es decir, el mercado tuvo, en un relativo corto período, grandes oscilaciones de precio y que obligaron a las partes signatarias de contratos de suministros de Uranio con entregas pactadas a largo plazo, a entablar renegociación de los mismos, originándose las consiguientes derivaciones judiciales, e incluso intervenciones

CAPACIDAD ESTIMADA DE PRODUCCION DE URANIO POR PAISES EXISTENTES EN EL MUNDO A FINES DE 1981	
PAIS	CAPACIDAD (tU/año)
ARGENTINA	190
AUSTRALIA	3,540
BRASIL	500
CANADA	9,490
EGIPTO	30
FRANCIA	3,920
GABON	1,500
REP.FEDERAL DE ALEMANIA	100
INDIA	150
JAPON	30
MEXICO	60
NIGERIA	4,200
PAKISTAN	20
FILIPINAS	40
PORTUGAL	100
SUD AFRICA Y NAMIBIA	10,740
ESPARA	180
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	18,100
TOTAL	52,890

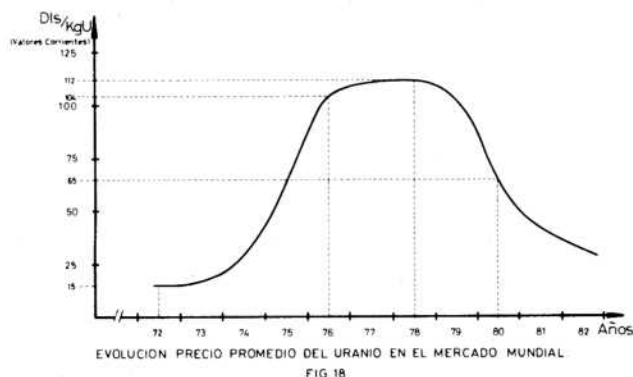
FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING, INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV. 1981

FIG:17

a niveles gubernamentales y parlamentarios, algunas de las cuales son indicadas por la bibliografía consultada(33).

A título orientativo y considerando valores promedios, los precios al contado de venta de Uranio en los últimos 10 años se encontraron en el siguiente orden(2): en 1972: 15 dls./Kg U (6 dls./LB U308), elevándose en los 3 ó 4 años siguientes a 104 dls./Kg U (40 dls./LB U308), llegando a un valor pico, en mayo de 1978, de 112 dls./Kg U (43 dls./LB U308), declinando a aprox. 106 dls./Kg U (41 dls./LB U308), en 1979, para luego caer bruscamente a alrededor de 65 dls./Kg U (25 dls./LB U308) en junio de 1980. En fig. 18 se grafican dichos valores promedios anuales.

Si se tiene en cuenta que los valores promedios indicados corresponden a valores corrientes y si se considera que el período estuvo caracterizado por una relativa alta inflación, las variaciones que se observan son aún más pronunciadas.



A partir de la segunda mitad de 1981 se manifiestan signos de comenzar una estabilización de los precios, con oscilaciones durante el año 1982, pero dado la situación oferta/demanda e inventario del mercado, no se esperan significativas presiones alcistas por un largo período, más por el contrario, podría aún generarse bajas en los precios.

Las fuentes de información consultadas indican, durante 1982, convenios sobre ventas, con futuros plazos de suministros, en precios contados entre 57 dls./Kg U (22 dls./LB U308) y 77 dls./Kg. (30 dls./LB U308) y aún ofertas a precios menores de aquellos fijados como base y por debajo de 51 dls./Kg. U (20 dls./LB U308) que, si bien no tienen carácter de compromisos contractuales, corresponden a conversaciones previas y compulsas de mercado(34) (35).

Estudios que se realizan sobre proyección de mercado, pretenden establecer la futura capacidad de producción óptima que deberían poseer los centros de explotación de Uranio en función del comportamiento de las variables A, B y C del mercado analizadas anteriormente.

Trabajos sobre el particular (36), definen temporalmente y para cada mercado, una relación (R.M.) entre dichas variables,

RM (para el año n) =

$$= \frac{A \text{ [proyectada a } (n + 10) \text{ años]}}{B \text{ (fines del año n) + C (fines del año n)}$$

La comparación de las relación RM entre distintos mercados, como así también con los compromisos contractuales de suministros de Uranio existentes, pretenden establecer posibles pautas sobre el comportamiento futuro del mercado, cuyo análisis en profundidad escapa

al alcance de este trabajo.

La referencia(36) en su estudio analiza la evolución de las variables señaladas en el mercado mundial y en el mercado de USA.

La declinación del nivel del inventario de Uranio que se viene operando a partir de 1982 y que se acentúa en las proyecciones futuras del mismo, apoya las predicciones que se efectúan en el sentido de no esperarse, en general, presiones alcistas durante los próximos años en los precios del uranio en el mercado mundial.

A fin de visualizar la influencia que posee el comportamiento del mercado del uranio de USA sobre el correspondiente mercado mundial, las cifras siguientes, reflejan en parte, la participación que posee ese país en dicho mercado mundial (excluida la República Popular de China y los países del COMECON) (2).

Parámetros	A nivel mundial (1)	En USA (2)	Participación $(\frac{2}{1} \times 100)$
	tU	tU	%
Requerimientos de Uranio para el parque nucleoelectrico en el periodo 1980-1998	734.000	267.700	36
Capacidad aprox. de producción de Uranio a fines de 1981	52.890	18.100	34
Producción aprox. de Uranio en 1980	44.000	16.800 ^(a)	38
Producción acumulada aprox. de Uranio hasta fines 1980	589.200 ^(b)	266.700	45

(a) Disminuyendo a 13.800 tU en 1981.

(b) Contabilizando las producciones acumuladas aprox de los principales países productores de Uranio según la fuente de referencia, a saber:

**PRODUCCION DE URANIO ACUMULADA
HASTA FINES DE 1980**

PAISES	tU
ARGENTINA	900(1)
AUSTRALIA	11.100
CANADA	139.000
FRANCIA	32.000
REP. FED. DE ALE.	200
GABON	10.700
MEXICO	100
NIGERIA	17.200

PORTUGAL	2.300
SUDAFRICA-NAMIBIA	107.500
ESPAÑA	1.200
USA	266.700
TOTAL	589.200

(1) hasta 1982 inclusive, la producción acumulada se eleva a 1170 tU

En la capacidad de producción de Uranio en la Argentina a fines de 1981 indicada en fig. 17 y estimada en 190 tU por año, no se encuentran incluidos los yacimientos de Sierra Pintada en Mendoza (aprox 600 tU/año) y los Gigan-

tes en Córdoba (aprox 85 tU/año). El primero está en las etapas previas de explotación y el segundo recientemente puesto en producción.

Los recursos uraníferos argentinos al 31-XII-81 son los siguientes(64):

Categoría	SEGUN COSTO DE			Sub total s/categ. (tU)
	78dls/Kg.U (tU)	78-130dls/Kg.U (tU)	130dls/Kg.U (tU)	
“Recursos razonablemente asegurados”	25.543	5.270	2.635	33.448
“Recursos estimados adicionales”	3.825	9.563	7.225	20.613
Sub-total s/costo (tU)	29.368	14.833	9.860	—
TOTAL				54.061

La bibliografía sobre el tema es muy amplia, indicándose algunas de ellas que profundizan sobre distintas áreas.

Las referencias (38) (39) (40) (41) (42) tratan aspectos correspondientes a la proyección en la demanda de Uranio por parte del parque nucleoelectrico a nivel mundial.

Las referencias (43) (48) (50) y (51) consideran los correspondientes temas económicos del mercado de Uranio, siendo tratada la situación latinoamericana en la referencia (52) y la

correspondiente a la Unión Soviética y su zona de influencia en (53) y (54).

VI EL MERCADO DEL ENRIQUECIMIENTO DEL URANIO

El tratamiento de industrialización que interviene en los suministros de elementos combustibles nucleares hasta aquí considerado y correspondiente a la minería del Uranio, pros-

pección, explotación minera, molienda y concentración del mineral, según la estructuración de "Ciclo de Combustible" adoptada para el tratamiento del mercado de elementos combustibles, no considera la segmentación del mercado nucleoelectrico entre centrales de Uranio enriquecido y natural presentada en el capítulo II y resumida en fig. 5.

Dicha segmentación entre centrales nucleares de Uranio enriquecido y natural introduce, a partir de las siguientes etapas del ciclo, el tratamiento de distintos centros de industrialización indicados en diagrama de fig. 7 (según se trate de suministros para E.C. enriquecidos o natural), que deben asimismo compatibilizar la ecuación económica del mencionado ciclo, con incidencia asimismo en la economía del mercado de Elementos Combustibles tratado.

Tres etapas industriales se caracterizan en este segmento del "Ciclo de Combustible":

- 1º Para la línea de centrales de Uranio enriquecido es necesario, previo a la etapa de enriquecimiento del Uranio, la conversión del concentrado de Uranio a F6U, para luego convertir dicho hexafluoruro ya enriquecido en U_3O_8 y con el cual se entra en la etapa de fabricación propiamente dicha de los elementos combustibles.
- 2º La línea de centrales de Uranio natural-agua pesada, requiere solamente la etapa industrial de conversión de concentrado de uranio a UO_2 .
- 3º Para los elementos combustibles de las centrales grafito-gas de Uranio natural, se requiere la conversión del concentrado de Uranio a Uranio metálico, pasando por F4U y que introduce otra etapa industrial en el Ciclo, aunque en este caso de menor cuantía y solamente para las correspondientes centrales, en etapa de extinción hacia fines del siglo.

Cobra singular significación la 1a. etapa señalada (correspondiente a la línea de centrales de Uranio enriquecido), en razón de la importancia que poseen dichas centrales en el escenario nucleoelectrico actual y proyectado, según se desprende de las cifras de fig. 4.

Siguiendo el esquema de análisis de la función oferta/demanda mundial, en fig. 19 se comparan las demandas de F6U para centrales de Uranio enriquecido y capacidades de plantas correspondientes a niveles regionales(2), sin considerar a la República Popular de China y Países del COMECON.

En dicha comparación se observa, a nivel mundial, un exceso de capacidad de planta de conversión de concentrado a F6U, pero persistiendo el desbalance regional en el Asia.

Analizando a los países que poseen significativas capacidades de planta de conversión a F6U(2):

PAIS	CAPACIDAD (tU)
CANADA	5.000
FRANCIA	12.000
REINO UNIDO	9.000
USA	22.500
TOTAL	48.500

Se destaca la importancia del Canadá en esta etapa, a pesar de no poseer líneas de reactores enriquecidos y más teniéndose en cuenta el aumento de capacidad que se producirá a mediados de la presente década (aprox 9.000 tU/año en plantas de F6U(55) y 18.000 tU/año en planta de refinación previa a la etapa de fluoración), de acuerdo a los programas que actualmente tiene en ejecución.

Asimismo en otras regiones se operarán, hacia la segunda mitad de la actual década, aumentos de capacidad de planta que incrementará la cifra señalada de 48.500 tU/año en 10.000 a 15.000 tU/año(2), asegurándose así el mercado de elementos combustibles y hasta fines de siglo, de las correspondientes capacidades de producción de F6U.

Adicionalmente a las cifras señaladas, Francia y el Reino Unido poseen capacidades suficientes en las etapas de F4U para la conversión de uranio metálico y destinado a centrales grafito-gas.

En base a las necesidades de enriquecimiento, la Unión Soviética seguramente posee capacidades del orden de 9.000 a 13.000 tU/año en las etapas de conversión de concentrado de Uranio a F6U.

Asimismo Japón ha desarrollado técnicas para la conversión directa de mineral de Uranio a F4U y F6U, sin pasar por las etapas de concentración, operándose actualmente dichos procesos a niveles de planta piloto(3).

Para el segmento de elementos combustibles enriquecidos, la etapa subsiguiente del "Ciclo de Combustible" y correspondiente al enriquecimiento del Uranio, luego de su conversión en F6U, se constituye en un Centro de Producción del mercado que posee características especiales de significación en el mismo, a saber:

- alta tecnología.
- altos costos de inversión y operación.
- contornos geopolíticos particulares.

Dicho contorno geopolítico está asociado a "políticas de salvaguardias" internacionales, cuyo nivel de tratamiento —dado las complejas

DEMANDA MUNDIAL DE CONVERSION DE CONCENTRADO DE URANIO A UF₆ Y CAPACIDAD DE PLANTAS DE PRODUCCION

REGION	DEMANDA PARA 1981	CAPACIDAD DE PLANTAS DE PRODUCCION A FIN DE 1981
	TU/AÑO X 1000	TU/AÑO X 1000
AFRICA	0,28	-
ASIA	2,53	-
EUROPA	8,32	21
AMERICA LATINA	-	-
AMERICA DEL NORTE	10,41	27,5
TOTAL MUNDIAL	21,54	48,5

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV, 1981
 NO SE INCLUYEN LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA NI LOS PAISES DEL CMEA (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE)

FIG:19

relaciones existentes entre éstos y las políticas regionales de los países involucrados—, escapa al marco del presente trabajo.

El enriquecimiento de Uranio por proceso de difusión gaseosa (“gaseous-diffusion”) es el que actualmente posee la mayor experiencia operativa dentro del respectivo mercado mundial.

No obstante ello y a escala comercial, también ha comenzado a tener una marcada influencia, con importante proyección hacia fines del siglo, el enriquecimiento de Uranio por “gas centrifugación” (“gas-centrifuge”) debido, fundamentalmente, a que los requerimientos de energía se encuentran dentro del 5% de aquellos demandados por el proceso de difusión gaseosa y con tendencia a disminuir aún más los mismos, en función de los intensos programas de investigación y desarrollo que actualmente se llevan a cabo, principalmente en USA (Planta de Portsmouth, Ohio y por el grupo URENCO/CENTEC formado por compañías de Inglaterra, Alemania y Holanda(57).

Asimismo otros procesos de enriquecimiento de Uranio se encuentran en etapas de investigación y desarrollo en diversos países y algunos a niveles de planta piloto.

Los más avanzados corresponden a aquellos que utilizan procesos aerodinámicos. Uno de ellos, el proceso por toberas (“nozzle process”), se lleva a cabo en la República Federal

de Alemania y también en Brasil, dentro del programa en conjunto que ambos países desarrollan y el otro, similar en su principio, el “UCOR”, cuyos trabajos se efectúan en Sud Africa.

En general y bajo el aspecto económico —uno de los que más interesan a cualquier mercado y por ende al de elementos combustibles—, los esfuerzos que se realizan en el campo tecnológico se centran en compatibilizar las inversiones de capital que dichas plantas necesitan, con los requerimientos de energía que la operación de las mismas demandan.

También y en niveles más primarios de investigación y desarrollo, se encuentran otros procesos de enriquecimiento de Uranio a continuación enumerados(2).

“Enriquecimiento por laser” (“laser enrichment”), cuyos trabajos se llevan a cabo con distintas intensidades en Australia, Francia, República Federal de Alemania, posiblemente India, Israel, Italia, Japón, Inglaterra, USA y probablemente en Rusia.

“Enriquecimiento por plasma” (“Plasma Enrichment”), en desarrollo en USA, Australia, República Federal de Alemania, Francia y Holanda.

“Enriquecimiento por cambio químico” (“chemical exchange”), en estudio en Francia y Japón.

“Enriquecimiento por espectroscopía” (“Spectroscopic Process”), en investigación en la Universidad de Tel Aviv en Israel.

Con el objeto de lograr una mejor interpretación de la terminología utilizada en el tratamiento de este mercado del enriquecimiento de Uranio, se considerarán algunos elementos dentro de la tecnología de los correspondientes procesos.

Las capacidades de las plantas de enriquecimiento son expresadas en “unidades de trabajo de separación” (“separative work unit”) (s.w.u.) en la terminología especializada).

El concepto “trabajo de separación” mide, en cierta forma, la capacidad de enriquecimiento de la planta para obtener una especificada cantidad de material enriquecido y se define como el trabajo desarrollado para separar una cantidad de Uranio (m), llamada “material de alimentación” de la planta (“feed material”), en dos fracciones:

- una fracción (p) con una concentración (e) de U-235 mayor que la contenida por el “material de alimentación”,
- otra fracción (m-p) llamada “cola” (“tail”), con una concentración (e_0) de U-235, menor que la contenida por dicho “material de alimentación”.

Siendo el “material de alimentación” Uranio natural (concentración (e_a) de U-235 = 0,711%), se define;

- a la fracción indicada en a), como “Uranio enriquecido” y
- a la fracción indicada en b), como “Uranio empobrecido”.

Es decir, fundamentalmente son 2 los parámetros que influyen en la economía de las plantas de enriquecimiento y en consecuencia en la correspondiente al mercado de enriquecimiento:

- el precio del Uranio natural que ingresa a la planta (“material de alimentación”) y
- el costo del “trabajo de separación” necesario para el enriquecimiento isotópico del Uranio.

Al respecto se tiene, para una producción o fracción unitaria de Uranio enriquecido, la siguiente relación entre material a evolucionar (m) y evolucionado en la planta de enriquecimiento, en la forma química F6U:

“material de alimentación” (U nat.) = Uranio enriquecido + “material de Cola” (Uranio empobrecido).

$$m \text{ [Kg] } F_6 U_{ea} = 1 \text{ [Kg] } F_6 U_e + (m-1)$$

$$\text{[Kg] } F_6 U_{e0}$$

siendo:

$$U_{ea} = \text{Uranio de “alimentación” (natural) } e_a = 0,711\% \text{ en peso}$$

$$U_e = \text{Uranio de cierto “enriquecimiento” } e$$

$$U_{e0} = \text{Uranio de cierto “empobrecimiento” } e_0$$

o también, de la misma igualdad se deduce:

$$m = \frac{e - e_0}{e_a - e_0} \text{ (donde } e_0 < e_a < e \text{), (1)}$$

que resulta la cantidad de Uranio natural necesaria para la producción de 1 Kg. de Uranio enriquecido, en función de la fracción isotópica de U-235 contenida en el “Uranio de alimentación” (e_a), el “Uranio enriquecido” (e) producido y el “Uranio empobrecido” (e_0), que abandona la planta.

Sin entrar en el detalle ni el análisis físico-matemático de la ecuación a continuación mostrada, por no corresponder al enfoque dado al presente trabajo, se demuestra que el “trabajo de separación” viene expresado por la cantidad de Uranio que ingresa a la planta (“Material de alimentación”) y una cierta función la cual, además de considerar la energía consumida por la misma, representa todos los costos de operación de planta por unidad de peso del Uranio enriquecido producido.

Es decir para la producción de 1 Kg. de Uranio de enriquecimiento (e), el “trabajo de separación unitario” (ζ) viene expresado por:

$$\zeta = f(e) + (m-1) \cdot f(e_0) - m \cdot f(e_a) \quad (2)$$

donde:

$$f(e_a) = (1-2e_a) \ln \frac{1-e_a}{e_a} \quad (3)$$

siendo e_a el enriquecimiento considerado para cada fracción del Uranio que se encuentra evolucionando en la planta en estado de régimen (e, e_0, e_a).

Asimismo el precio unitario del Uranio enriquecido producido, resulta de la suma del precio unitario del Uranio natural y el precio unitario del “trabajo de separación”.

Es decir, el precio de manufactura de 1 Kg. de F6U (P) con un cierto enriquecimiento (e), producido en una planta de difusión gaseosa que opera en condiciones tales que el material de “cola” (“tail”) abandona la planta con un enriquecimiento (e_0), ingresando el “material de alimentación” (“feed material”) (m) con un enriquecimiento (e_a) y correspondiente al Uranio natural, viene expresado por:

$$p = A \cdot \zeta + B \cdot m \quad (4)$$

siendo:

A = precio unitario del "trabajo de separación" de la planta

B = precio unitario del Uranio natural en el mercado

operando (2) y (3) en (4) se obtiene:

$$P = \left[(1-2e) \ln \frac{1-2e}{e} + (m-1) (1-2e_0) \ln \frac{1-e_0}{e_0} \right]$$

$$m(1-2e_a) \ln \frac{1-e_a}{e_0} + B, m \quad (5)$$

Analizando las ecuaciones (1) y (2), o la (5), a valores constantes del enriquecimiento (e) del Uranio que se produce en la planta y el enriquecimiento (e_a) del "material de alimentación" (Uranio natural) ingresado en la misma, se demuestra que variando el enriquecimiento (e_0) del material de cola ("tail"), con el cual se opera la planta, se obtienen variaciones opuestas de m y \bar{z} (a un aumento de e_0 se corresponde un aumento de m, pero una disminución de \bar{z}).

Es decir, a un cierto precio unitario (B) en el mercado y determinado precio unitario del "trabajo de separación" (A) de la planta, se puede calcular cuál es el "valor óptimo de e_0 " de la planta que minimice la ecuación económica(4) y por consiguiente la(5).

Este valor óptimo del enriquecimiento (e_0) del material de "cola" ("tail") que abandona la planta se denomina en la terminología especializada, "tail assay óptimo" (e_{op}). Para el cálculo de los requerimientos de Uranio correspondiente a los escenarios nucleoelectrónicos analizados, se adoptó $e_{op} = 0,2\%$.

También la variación de este valor operativo (e_{op}) de las plantas de enriquecimiento, modifica la capacidad de producción de las mismas para un mismo equipamiento, pero fluctuando la cantidad (m) del "material de alimentación" ("feed material") que ingresa a dichas plantas.

Existen ábacos, según se muestra en fig. 20 que, a ciertos precios del Uranio natural en el mercado y determinado costo del "trabajo de separación" (s.w.u.) resultante de la planta de enriquecimiento, calculan el "tail assay óptimo" (e_{op}) que minimiza la ecuación económica(5).

Asimismo en fig. 21 se tabulan algunos valores resultantes de las ecuaciones (1) y (2) que indican, para cada Kg. de Uranio de un determinado enriquecimiento (e) a suministrar por la planta, la cantidad de Uranio natural (m) ("feed material") a ingresar a la misma y el "trabajo de separación" (s.w.u.) a consumir,

abandonando la planta el Uranio empobrecido de "cola" ("tail") con distintos enriquecimientos (e_0).

Se destaca que, en el precio del s.w.u., interviene el costo de la energía utilizada por la planta la cual, en el caso del proceso por difusión gaseosa, representa aprox. un 45% del costo total del s.w.u.

En tabla de fig. 22, se indican los países que poseen plantas de enriquecimiento de Uranio, señalando el proceso empleado, como así también la proyección del aumento de su capacidad hacia fines del siglo(2).

Según se observa, hasta fines de siglo más del 90% del mercado de enriquecimiento estará cubierto por las plantas de difusión gaseosa, de alto costo de inversión y consumo energético, como así también tecnología especializada.

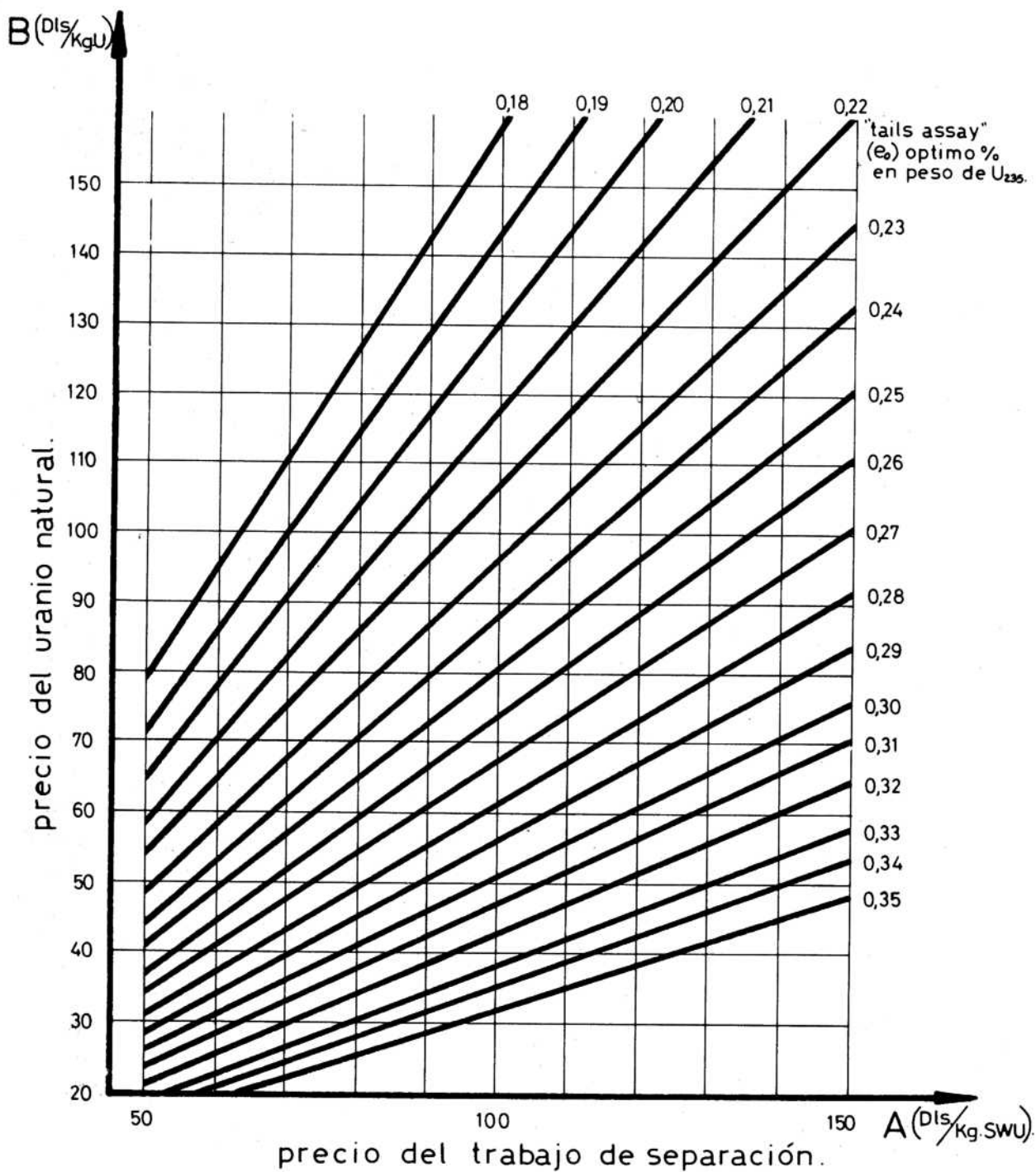
Estas características circunscriben la posesión de las respectivas plantas de enriquecimiento que actualmente operan a niveles industriales —y que son las que abastecen comercialmente al mercado mundial—, a pocos países, dado el potencial técnico-económico que dichas plantas exigen y dentro de la hipótesis de considerar la relación equilibrada que debe existir, en todo país, entre los esfuerzos que se emplean en las distintas áreas que hacen al desarrollo socio-económico del mismo.

En resumen la competencia económica en el mercado de enriquecimiento se establece entre plantas que utilizan el proceso por difusión gaseosa —prácticamente el único que abastece actualmente el mercado—, y los restantes, no esperándose, hasta fines de siglo, variaciones de importancia en la supremacía que posee dicho proceso por difusión gaseosa sobre otros.

La comercialización en el mercado del enriquecimiento es establecida mediante contratos por la "venta de servicios de enriquecimiento", es decir de las "unidades de trabajo de separación", en lugar del Uranio enriquecido, siendo provisto en general por el cliente el Uranio natural ("feed material") que ingresa a la línea.

También aquí se producen los fenómenos observados en el mercado del Uranio, e igualmente afectado por la disminución relativa en las realizaciones de los programas nucleares y que obligan a los operadores de centrales a tratar de reducir el inventario de compromisos contractuales pactados por servicios de enriquecimiento, dentro de las posibilidades que dichos Contratos permiten, así como encarar la renegociación de los correspondientes precios oportunamente concertados.

En el mercado europeo los operadores de



"tail assay" optimo en funcion del precio del uranio natural en el mercado y costos del swu de planta de enriquecimiento.

FIG. 20.

DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE URANIO NATURAL (m) Y TRABAJO DE SEPARACION (ζ) POR KILOGRAMO DE URANIO ENRIQUECIDO (CON ENRIQUECIMIENTO e), PARA DISTINTOS "TAIL ASSAY" (e_0) DE PLANTA

e	m			ζ		
	(Kg, U _e a/Kg, U _e)			(Kg, SWU/Kg, U _e)		
(% EN PESO DE U 235)	e ₀ (% EN PESO DE U235)			e ₀ (% EN PESO DE U235)		
	0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30
0,5	0,587	0,542	0,487	- 0,173	- 0,128	- 0,092
0,711 (NAT)	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,9	1,370	1,410	1,460	0,236	0,195	0,163
1,1	1,761	1,844	1,946	0,535	0,451	0,385
1,4	2,348	2,495	2,676	1,045	0,896	0,779
1,6	2,740	2,928	3,163	1,413	1,221	1,070
1,8	3,131	3,362	3,650	1,797	1,562	1,377
2,0	3,523	3,796	4,136	2,194	1,915	1,697
2,1	3,718	4,013	4,380	2,397	2,096	1,862
2,3	4,110	4,447	4,866	2,809	2,465	2,197
2,6	4,697	5,098	5,596	3,441	3,033	2,714
3,0	5,479	5,965	6,569	4,306	3,811	3,425
5,0	9,393	10,304	11,436	8,851	7,923	7,198
20	38,728	42,801	47,898	45,547	41,603	38,298
93	182	201	225	239	216	200

FIG:21

PAISES	CAPACIDAD DE PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO POR PAISES EN SWU/AÑO x 10 ³					
	PROCESO	1981	PROCESO	1985	PROCESO	1990
BRASIL		-		-	TOBERAS	110
FRANCIA (1)	DIF. GASEOSA	6,500	DIF. GASEOSA	10,800	DIF. GASEOSA	10,800
REP. FED. ALEMANIA (2)		-	TOBERAS	400	TOBERAS	1,000
JAPON		-		-	CENTRIFUGACION	250
HOLANDA (2)	CENTRIFUGACION	200	CENTRIFUGACION	200	CENTRIFUGACION	1,000
SUD AFRICA (3)		-	"Ucor" (TOBERAS)	300	"Ucor" (TOBERAS)	300
RUSIA (4)	DIF. GASEOSA	3,000	DIF. GASEOSA	3,000	DIF. GASEOSA	3,000
INGLATERRA (2)	CENTRIFUGACION	600	CENTRIFUGACION	800	CENTRIFUGACION	1,000
USA	DIF. GASEOSA	26,400	DIF. GASEOSA	27,300	DIF. GASEOSA	27,300
					CENTRIFUGACION	2,200
TOTALES		36,700		43,400		46,960

(1) PROYECTO MULTINACIONAL "EURODIF"

(2) PLANTAS DEL GRUPO "URENCO" CON EXCEPCION DE LA PLANTA DE 400,000 SWU/AÑO EN DESMANTELAMIENTO. LA CAPACIDAD TOTAL DE 3,000,000 SWU/AÑO EN 1990 DEPENDE DE LAS CONDICIONES DEL MERCADO.

(3) ESTIMADO

(4) EXCESO DE CAPACIDAD ESTIMADA DISPONIBLE PARA EXPORTACION A OTROS PAISES FUERA DE AQUELLOS DEL "COMECOM". LA ACTUAL CAPACIDAD SE ESTIMA ENTRE 7 A 10 x 10⁶ SWU/AÑO

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING, INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV, 1981

FIG:22

Centrales ven dificultadas sus posibilidades de disminuir sus inventarios de s.w.u. en virtud de su participación, en acuerdo de socios, con sus proveedores de servicios de enriquecimien-

to(36). Estos eventos llaman a la necesidad de establecer la mayor independencia posible entre operadores de Centrales y suministradores en el área de los elementos combustibles, a fin de

DISTRIBUCION REGIONAL DEL MERCADO DE ENRIQUECIMIENTO ENTRE DISTINTOS PROVEEDORES MUNDIALES CONSIGNADO EN % DE COMPROMISOS DE SERVICIOS DE PLANTA Y EN EL PERIODO 1982-1990				
PAISES	DOE (1)	EURODIF-COGEMA (2)	URENCO	TECHNABEXPORT (3)
USA	100	0	0	0
JAPON	83	17	0	0
REP. FED. ALEMANIA	45	2	19	34
ITALIA	13	60	0	27
ESPAÑA	32	37	0	31
FRANCIA	8	84	0	8
SUD COREA	81	10	0	0
TAIWAN	100	0	0	0

(1) PLANTAS DEL DEPARTAMENTO ENERGIA DE USA (DOE) UBICADAS EN: OAK RIDGE, TENNESSEE (OPERADA POR LA UNION CARBIDE CORP.), PADUCAH KENTUCKY (OPERADA POR LA UNION CARBIDE CORP.), Y PORTSMOUTH, OHIO (OPERADA POR GOODYEAR ATOMIC CORP.)

(2) PLANTA PERTENECIENTE A LA EURODIF (8,33% AGIP DE ITALIA; 8,33% COMITATO NAZIONALE PER L' ENERGIA NUCLEARE DE ITALIA; 11,11% ENUSA DE ESPAÑA; 36,11% COGEMA COMPAGNI GENERALE DES MATIERES NUCLARES DE FRANCIA; 11,11% SOCIETE BELGE POUR L' ENRICHISSEMENT DE L' URANIUM DE BELGICA; 25% SOFIDIF SOCIETE FRANCO-IRANIENNE PORU L' ENRICHISSEMENT DE URANIUM PER DIFFUSION GAZENSE)

(3) PLANTA PERTENECIENTE A LA U.R.S.S.

FIG: 23

DEMANDA MUNDIAL DE ENRIQUECIMIENTO DE URANIO				CAPACIDAD DE PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO		
REGION	1981	1990	1998	1981	1985	1990
	SWU X 10 ⁶	SWU X 10 ⁶	SWU X 10 ⁶	SWU X 10 ⁶	SWU X 10 ⁶	SWU X 10 ⁶
AFRICA	-	0,2	0,2	-	0,3 ⁽¹⁾	0,3 ⁽¹⁾
ASIA	1,9	4,3	6,6	-	-	0,25 ⁽²⁾
AUSTRALIA	-	-	0,1	-	-	-
EUROPA	6,3	11,5	16,0	7,3 ⁽³⁾	12,8 ⁽³⁾	13,8 ⁽³⁾
AMERICA LATINA	0,1	0,4	1,0	-	-	0,11 ⁽⁴⁾
AMERICA DEL NORTE	6,7	11,7	11,8	26,4	27,3	29,5
RUSIA	(6)	(6)	(6)	3 ⁽⁵⁾	3 ⁽⁵⁾	3 ⁽⁵⁾
TOTAL MUNDIAL	15,0	28,1	35,7	36,7	43,4	46,96

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING, II EDITION INTERDEVELOPMENTS INC., NOV, 1981

1)-VALORES ESTIMADOS DE CAPACIDAD DE PLANTA

2)-PLANTA DE ENRIQUECIMIENTO DE JAPON

3)-PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO DE FRANCIA (NO MILITAR), ALEMANIA, HOLANDA E INGLATERRA

4)-PLANTA DE ENRIQUECIMIENTO DE BRASIL

5)-VALORES ESTIMADO DE EXCESO DE CAPACIDAD DE PLANTA DE ENRIQUECIMIENTO PROBABLEMENTE DISPONIBLE PARA LA EXPORTACION A OTROS PAISES QUE AQUELLOS DEL CMEA

6)-INFORMACION NO DISPONIBLE

FIG: 24

no entorpecer las acciones que permitan a aquellos optimizar la ecuación económica de dichas Centrales.

A todo ello se suma asimismo la penetración, en el mercado, de otros proveedores mundiales, aparte de USA, quien hace pocos años atrás retenía prácticamente el 100% del mismo, estableciéndose así una competición de características esenciales, dado la índole del producto comercializado (unidades de trabajo de separación) e íntimamente ligado a otro mercado, el del Uranio y en el marco de un escenario nucleoelectrico caracterizado por una crisis energética en el orden mundial, según se analizó en el Capítulo II del presente trabajo.

En fig. 23 se muestra, para el mercado de enriquecimiento, la distribución regional, en tanto por ciento, entre distintos proveedores mundiales y en función de los compromisos de servicios de planta previstos en el período 1982-1990 (36), donde al presente USA solamente mantiene cautivo su propio mercado y el de Taiwan, observándose la penetración, principalmente en el mercado europeo y a par-

tir de 1978, de proveedores locales tales como URENCO, EURODIF y TECHSNABEXPORT de la URSS.

No obstante, COGEMA pretende penetrar, en el futuro, el mercado de enriquecimiento de Taiwan(62), en base al ofrecimiento de atractivos acuerdos de financiamiento para suministros a largo plazo y con destino a su programa nucleoelectrico, actualmente cubierto por proveedores de USA, según lo señalado precedentemente.

Conceptualmente son establecidas 2 modalidades de Contratación en este mercado de enriquecimiento y en atención a la característica del suministro comercializado (servicios de enriquecimientos, con cotizaciones de s.w.u., en lugar de cotización del Uranio enriquecido).

Esas modalidades corresponden a contratos con "compromisos en firme" ("fixed commitment") que implican garantías a largo plazo en relación a cantidades de s.w.u. y plazos de entrega y los contratos por "requerimientos" ("requirement" u "optional") los cuales no implican garantías en firmes sobre plazos y canti-

dades de s.w.u.

Indudablemente los precios fijados por s.w.u. para cada modalidad de contratación es diferente, en virtud de los compromisos contractuales asumidos por las partes.

La evolución del parque nucleoelectrico, con los cambios de escenarios que fueron produciéndose en razón de la situación energética mundial —que en los últimos 10 años tuvo cambios significativos—, sumado a la pérdida de la supremacía de suministros de Uranio enriquecido por parte de los proveedores de USA, mantenida casi con exclusividad hasta 1978 y con la fijación unilateral de condiciones económicas-comerciales, así como otros factores geopolíticos exógenos al mercado, han hecho variar sustancialmente la posición del cliente frente al proveedor, como fue ya señalado.

Es de destacar la importancia que reviste, en la estructura de costo del Ciclo de Combustible, la incidencia del Uranio natural y servicios de enriquecimiento, que representan, en la línea de elementos combustibles LWR, aproximadamente el 65% al 70% del costo de dicho Ciclo (sin considerar el reciclado de Uranio ni Plutonio), según evaluaciones realizadas y comentadas(56).

Similar incidencia también posee el costo del Uranio en la estructura de costo del Ciclo de Combustible correspondiente a la línea de elementos combustibles HWR y GWR, lo cual indica asimismo la importancia de poseer el control económico de este suministro por parte de los operadores de Centrales Nucleares.

En relación al análisis de la función oferta/demanda de servicios de enriquecimiento en el mercado mundial, actual y proyectada, en fig. 24 se comparan la demanda aproximada requerida por las Centrales Nucleares, según el escenario nucleoelectrico presentado en fig. 1 (Interdevelopment Inc. II edition nov. 1981), con las capacidades de planta y en el período 1981-2000.

De la comparación surge un exceso de oferta global en todo el período, pero con un desbalance regional en Asia, y muy poco en Europa hacia fines del siglo, donde la demanda supera a la oferta y también en América Latina se tendrá un déficit y corresponde a los requerimientos para las Centrales nucleoelectricas del Brasil.

Asimismo puede observarse que dentro del mercado mundial USA dispone, en 1981, de casi el 72% de la capacidad total de plantas del mismo, siendo la relación oferta/demanda en su propio país de casi 4 veces en la actualidad y 2,5 veces a fines de siglo, no siendo así el

mercado europeo donde existe un razonable equilibrio en la correspondiente función oferta/demanda.

Entre otros factores endógenos así como exógenos al mercado de enriquecimiento, el cual era abastecido comercialmente casi con exclusividad por USA, la economía del mismo ha experimentado un notable cambio con la penetración, a partir de 1979, de otros proveedores mundiales.

Ello ha conducido al DOE(58) a considerar la introducción, en las modalidades de contratación de los servicios de enriquecimiento comentado ("fixed commitment"), de modificaciones en el "tails assay fijo", el cual hasta 1981 era contractualmente fijado en 0,20%, permitiendo a sus clientes optar por un "tails assay variable" ("variable tails assay option" (VTAO) en la terminología utilizada), a fin de posibilitarles optimizar la ecuación económica del Ciclo de Combustible, en razón de la relación matemática existente entre $e_{0,m}$ y τ , como se analizó anteriormente a través de las ecuaciones(4) ó (5).

Esta posibilidad condujo a los distintos operadores de centrales a optar, a partir de 1983, desde "tail assay" bajos, con el consiguiente alto consumo de s.w.u. y mínimo consumo de Uranio y a fin de utilizar al máximo las s.w.u. contratados y vender Uranio remanente en el mercado, hasta la situación inversa que se da por elección de un alto valor del "tails assay".

En función de las condiciones del mercado de Uranio, un estudio de la Nuclear Exchange Corp. (NUEXCO) (59), indica que un "tails assay" 0,32% es considerado óptimo para minimizar la ecuación económica del Ciclo de Combustible, valor éste prácticamente no elegido por ningún operador de centrales, encontrándose los mismos entre 0,16% y 0,30%, siempre a partir de 1983.

Los cambios en la política del DOE comentada y correspondiente al mercado del enriquecimiento, tiende asimismo a controlar la penetración, en el mercado interno del Uranio en USA, por parte de suministradores, de otras regiones, siendo actualmente dicha penetración del 16%, proyectándose hacia 1990 en un 34% (60).

Los precios fijados por el DOE en contratos corrientes se encuentran en el orden de 140 dls/swu, variando dicho precio en función del tipo de contrato(62) (63).

Estudios del DOE sobre el efecto que el cambio del "tail assay" ejercerían en el precio del s.w.u., indican que, con un incremento del e_0 de 0,20% a 0,25%, se aumentaría el precio

del mismo en aprox. 10 dls., debido a la menor demanda de s.w.u. que se produciría(64).

Se recuerda que las estimaciones en los requerimientos de Uranio indicados en el presente trabajo, para los distintos escenarios nucleoelectrónicos propuestos, es calculado partiendo de un "tail assay" de 0,20% y factor de carga de 0,6 para LWR y GGR y 0,7 para HWR, significando que, a título orientativo, son necesarios aprox. 200.000 s.w.u. para enriquecer el Uranio del primer núcleo de un reactor moderno de agua liviana con una potencia de 1.000 MWe y 100.000 s.w.u. para las sucesivas recargas anuales(2)

En resumen, la introducción de nuevas técnicas en la tecnología del enriquecimiento, como así también la penetración en el mercado de otros proveedores mundiales, el cual hasta hace pocos años se encontraba casi exclusivamente suministrado por USA, ha hecho cambiar fundamentalmente la política trazada por operadores de Centrales y en función principalmente de la competencia que en dicho mercado se ha establecido, de acuerdo a lo precedentemente expuesto.

VII FABRICACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

La fabricación propiamente dicha de los elementos combustibles, completa la primera parte del "Ciclo de Combustibles" ("front-end of the fuel-cycle" en la terminología especializada) y fija el límite donde el combustible ingresa en la segunda parte de dicho Ciclo ("back-end of the fuel-cycle" en la misma terminología), que requiere un tratamiento tecnológico completamente diferente en todas sus posteriores etapas y con una incidencia económica asociada de relevante importancia, la cual no siempre se hace intervenir en su justa medida en el costo de la energía generada.

El referido límite corresponde a la entrada en "servicio nuclear" de los elementos combustibles y posterior a la mencionada etapa de fabricación de los mismos.

Es decir, dentro del costo total del Ciclo de Combustible, una parte importante del mismo corresponde a etapas "posteriores a aquéllas en la cual el elemento combustible ya entregó su energía, como se analizó sumariamente en el capítulo III, debiéndose considerar este aspecto en las correspondientes evaluaciones económicas del costo del kwh.

La etapa de fabricación de los elementos combustibles, bajo el punto de vista de considerar un centro de producción a nivel indus-

trial, corresponde al de una industria mecánico-metalúrgica de muy alta precisión, con la utilización de procesos y técnica de avanzada y bajo el estricto cumplimiento de ajustadas especificaciones.

Son diferentes las formas químicas de ingreso del material fisionable en las fábricas de elementos combustibles de óxidos de Uranio, pero existe, según procesos tecnológicos, un límite definido respecto a la forma química con la cual ingresa el material fisionable en su última etapa de manufactura y corresponde:

- para elementos combustibles de Uranio enriquecido: F6U enriquecido.
- para elementos combustibles de Uranio natural: concentrado de Uranio natural.

En la serie de procesos y técnicas encadenadas que conducen a la forma final en la cual el material fisionable se encuentra en el elemento combustible (pastillas sinterizadas de UO_2), revisten capital importancia las siguientes etapas:

- fabricación del polvo de UO_2 a partir de F_6U enriquecido o concentrado de Uranio natural.
- compactación del polvo de UO_2
- sinterización del compacto de UO_2

en razón de la íntima relación existente entre sus propiedades metalúrgicas, se aconseja, dentro de lo posible, ser conducidas bajo una misma dirección técnica u organización, evitándose así una serie de problemas de línea con las asociadas penalidades económicas.

Dentro de los Centros de Producción que a nivel mundial conducen los procesos de fabricación de elementos combustibles de óxido de Uranio, una revisión bibliográfica(2) indica que, de un potencial de aprox. 9.215 tU/año de capacidad mundial de fabricación de dichos combustibles a fines de 1981, entre el 50% y 60% parten con líneas integradas desde F_6U a concentrado de Uranio (en una misma planta o separadas), utilizando el resto de las fábricas, UO_2 como materia prima o en algunos casos, directamente pastillas combustibles de UO_2 sinterizadas, existiendo fábricas que manufacturan solamente el UO_2 a partir de F_6U o concentrado.

Estimaciones de la capacidad mundial de fábricas de elementos combustibles hacia fines de 1981 se indican en fig. 25, señalándose que no se contabilizan facilidades de fabricación de combustibles LMFBR y HTR, por no tener significación comercial, hacia fines de siglo y dentro del escenario nucleoelectrónico analizado.

La bibliografía consultada(2), por su fecha, no refiere a la reciente fábrica de elementos combustibles puesta en servicio en Resende (Brasil), la cual, en esta primera etapa, sola-

CAPACIDAD ESTIMADA MUNDIAL DE FABRICACION DE E.C. NUCLEARES A FINES DE 1981		
PAISES	CAPACIDAD (TUN/ANNO)	TIPO
ARGENTINA	40	HWR
BELGICA	400	PWR
CANADA	1.500	HWR
FRANCIA	400	PWR
	800	GGR (1)
REP. FED. ALEMANIA	1.100	BWR (25%) Y PWR (75%)
INDIA	110	HWR
	25	BWR
ITALIA	260	BWR (25%) Y PWR (75%)
	30	GGR (1)
JAPON	990	BWR (50%) Y PWR (50%)
ESPAÑA	500	BWR Y PWR
SUECIA	400	BWR Y B.C. PARA PWR
REINO UNIDO	1.000	GGR (1)
	150	AGR
	100	SGHWR
USA	3.240	BWR (35-40%) Y PWR (65-60%)
TOTAL	11.045	

FUENTE: "GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING"
INTERDEVELOPMENT INC., 11 EDITION NOV. 1981

NO SE INCLUYEN LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA NI LOS PAISES DEL CMEA
(COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE)

(1) ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE URANIO NATURAL METALICO

FIG: 25

mente efectúa el montaje de elementos combustibles, partiendo de pastillas de UO_2 sinterizadas y componentes, ambos importados.

También en fig. 26, se muestra la relación oferta/demanda de elementos combustibles actual y proyectada hacia fines de siglo y siempre en base al escenario nucleoelectrico adoptado para el presente trabajo.

Se observa que la actual capacidad instalada de fabricación de elementos combustibles, cubre holgadamente la demanda regional de los mismos, tanto en la línea de enriquecidos como así también en la de natural.

Si bien la composición en la demanda de elementos combustibles enriquecido y natural no varía significativamente entre los años 1981 y 2000, según se observa en la tabla siguiente:

AÑOS	COMPOSICION DE LA DEMANDA	
	E.C. U Enriquecido	E.C. U Natural
	%	%
1981	73	27
2000	76	24

es de destacar que ello se debe exclusivamente al aumento de participación de la línea CANADU en la demanda global de elementos combustibles de Uranio natural, la cual pasó del

35% en 1981, a casi el 100% en el año 2000 y según el escenario nucleoelectrico analizado, las mismas se encontrarán y seguirán encontrándose en su gran mayoría, en el Canadá.

Asimismo la línea GGR de combustibles de Uranio metálico prácticamente desaparecerá hacia fines de siglo y principio del siguiente.

Situación similar se observa de la evolución de líneas de reactores para centrales nucleoelectricas y analizado en fig. 4.

Las tecnologías de fabricación de elementos combustibles actualmente empleada corresponden, en su mayor parte, a aquellas que procesan el Uranio en forma de óxidos (PWR, BWR, HWR) y en mucho menor escala en forma metálica (GGR), como fue analizada.

Además de todos los trabajos de investigación y desarrollo que se realizan a nivel mundial en las tecnologías con óxidos (puros) o mezclas con $PU.O_2$, también están siendo investigadas la posibilidad de utilizar otras formas químicas de Uranio, por ejemplo los carburos, además del uso de torio (232), como material fértil para producir U233 (fisionable), en lugar del Uranio (238) que transmuta a PU-239 (fisionable).

La economía de esta etapa ha variado fundamentalmente en los últimos 10 años, teniendo un comportamiento opuesto a otras etapas o suministros del "Ciclo de Combustible".

Mientras otros componentes de la estructura de costo de los elementos combustibles sufrieron aumentos porcentuales considerables en los mismos (como el Uranio y servicios de enriquecimiento), la etapa de fabricación, en general, experimentó sustanciales disminuciones en aquellas líneas de elementos combustibles de mayor competitividad y cuya cuantificación no responde a políticas como las seguidas en enriquecimiento, que en particular siguen pautas de organizaciones rectoras en la materia, sino se mantiene en un plano de exclusiva negociación proveedor-cliente, sin prácticamente ninguna guía sugerida.

Mucho ha influido sobre la optimización de precios producidos en esta moderna industria el significativo esfuerzo que se ha dispensado en trabajos de investigación y desarrollo a nivel mundial, principalmente en los últimos 4 ó 5 años y dirigidos a aquellos aspectos que permitan un aumento del "burn up" ("quemado") de los elementos combustibles.

Los beneficios asociados con el aumento de "burn-up" incluyen, además del mejoramiento en la utilización del Uranio ya comentado en el Capítulo II, la reducción en la producción de elementos combustibles irradiados que aban-

OFERTA/DEMANDA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES EN EL MERCADO
MUNDIAL Y SU PROYECCION A FINES DEL SIGLO

REGION (2)	1981				2000	
	DEMANDA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES		CAPACIDAD DE FABRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES		DEMANDA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES	
	DE U ENR.	DE U NAT.	DE U. ENR.	DE U NAT.	DE U ENR.	DE U NAT.
	TU/AÑO	TU/AÑO	TU/AÑO	TU/AÑO	TU/AÑO	TU/AÑO
ASIA	577	30	1.015	110	1.825	307
EUROPA	3.276	1.300 ⁽¹⁾	3.310	1.830 ⁽¹⁾	4.530	-
AMERICA LATINA	49	44	-	40	265	212
AMERICA DEL NORTE	1.881	755	3.240	1.500	2.962	2.537
TOTALES MUNDIALES	5.783	2.129	7.565	3.480	9.582	3.056
	7.912		11.045		12.638	

(1) CORRESPONDE A E.C. DE URANIO METALICO PARA CENTRALES GGR

(2) NO SE INCLUYEN LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA Y LOS PAISES DEL CMEA (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE)

FUENTE: CIFRAS CALCULADAS DEL GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING. INTERDEVELOPMENT INC. II EDITION NOV, 1981.

FIG:26

donan el reactor, lo cual paralelamente reduce el manipuleo de los mismos y consecuente exposición a radiaciones del personal de operación.

Se estima que para fines de la década del 80 y primeros de la del 90, los fabricantes esperan ofrecer garantías de integridad mecánica a altos "burn-up", con standard de aprox. 50.000 y 42.000 MWd/tU en elementos combustibles para PWR y BWR respectivamente (actualmente se obtienen quemados de 33.000 y 28.700 MWd/tU) (65).

Indudablemente estos aumentos considerables en los "burn-up" esperados, se refieren a elementos combustibles enriquecidos, encontrándose limitado dichos aumentos en las correspondientes líneas de Uranio natural y por razones del bajo contenido unitario de material fisiónable en los mismos.

En la República Argentina, la Comisión Nacional de Energía Atómica ha formado, juntamente con la firma Pecom de la industria privada, la sociedad CONUAR S.A., que opera la fábrica de elementos combustibles de aquella, sita en el Centro Atómico Ezeiza, con una capacidad de producción de diseño de aprox. 400 tU/año y suficiente para abastecer los programas de suministros de elementos combustibles para la CNA I; CNE y CNA II.

En la actualidad la fábrica abastece solamente las necesidades totales de la CNA I y se encuentra en la misma, en etapas avanzadas de desarrollo y bajo responsabilidad del correspondiente Proyecto en CNEA, la fabricación de los elementos combustibles para la CNE. Al respecto se tiene previsto el suministro de 1.000 Elementos Combustibles destinados a dicha Central para el corriente año(66).

La fábrica CONUAR S.A. parte, en su fabricación, con dióxido de uranio el cual, a partir del corriente año, será suministrado por la planta de conversión con capacidad de aprox. 150 tU/año que la CNEA ha recientemente instalado y ya inaugurado en el Complejo Fabril Córdoba sito en dicha ciudad, siendo operada al momento por la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Dentro de los suministros de entrada en las líneas de fabricación de elementos combustibles, no solamente tiene importancia tanto económica como estratégica el Uranio en sus diversas formas y estados, sino existen otros, como los tubos de aleaciones especiales para las vainas de dichos elementos combustibles.

Esos tubos, en su mayoría de aleaciones de circonio, llamada "Zircaloy" y utilizados en los combustibles de reactores térmicos y por ende los de mayor importancia en el período analizado del mercado hasta fines de siglo, requieren en su fabricación la más alta tecnología de la industria metalúrgica y metal-mecánica, que deben satisfacer altas exigencias de seguridad, impuesto por las funciones que las mismas cumplen y dentro de un entorno económico impuesto por el mercado.

Son diversos y extensos los programas de investigación y desarrollo que a nivel mundial se llevan a cabo en este campo, tanto en aquellas líneas destinadas a suministros de vainas para elementos combustibles de reactores térmicos, como así también para reactores LMFBR, que utilizan tubos de aceros inoxidable especiales, principalmente por las severas solicitaciones termo-hidráulico-mecánica a que se encuentran sometidos en su servicio.

También en este campo de fabricación de tubos de aleación de Circonio, la CNEA se encuentra en un Proyecto a nivel industrial de avanzada realización y en etapa de formación de la respectiva Empresa, que abastecerá industrialmente los requerimientos del mercado de tan importante suministro de entrada en línea de fabricación de elementos combustibles.

VIII MERCADO ASOCIADO AL DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Como se manifestara en el Capítulo VII, con la entrada en servicio nuclear de los elementos combustibles, se cumple la primera parte del Ciclo de Combustible ("front-end of the fuel cycle") y fija un valor económico del mismo de fundamental importancia en el respectivo mercado, pero que, a diferencia de los combustibles fósiles, exige el posterior cumplimiento

de nuevas etapas ("las correspondientes al "back-end of the fuel cycle") con apreciable incidencia en la "Economía Nuclear Integral" de las Centrales y a través de uno de sus componentes, el "Costo del Ciclo de Combustible", como fuera señalado sumariamente en el Capítulo II.

Si bien las etapas que comprenden el "back-end of the fuel cycle" no corresponden estrictamente a un tratamiento del mercado de Elementos Combustibles, según el alcance dado al mismo en el presente trabajo, esas etapas tienen marcada influencia en el mercado futuro de las centrales nucleares, en la medida que se encuentran adecuadas y satisfactorias soluciones a la eliminación de dichos combustibles —en aquellos países que tienen estructurado el "Ciclo de Combustible, abierto"— o los correspondientes desechos radioactivos —donde se adopta el "Ciclo de Combustible cerrado"—, y luego del cumplimiento del servicio nuclear de los mismos, además del efecto que ejercerá el desarrollo de la industria del "Reprocesamiento" (actualmente con difíciles problemas político-económicos) en el futuro mercado de los "breeder", y sus respectivos elementos combustibles, como ya fuera señalado.

La optimización de la ecuación económica del Ciclo de Combustible depende, entre otros parámetros, de la minimización de inventarios de material fisionable que se encuentran en las etapas que comprenden al "front-end of the fuel cycle" o de inventarios de combustibles "quemados" que, sin ningún tratamiento, se hallan en las etapas comprendidas en el "back-end of the fuel cycle", dado las pesadas cargas económico-financieras que ellas originan.

La operación de las centrales nucleares (etapa de unión entre el "front-end y back-end of the fuel cycle"), regula la actividad de ambas partes del ciclo, ejerciendo una marcada influencia en el volumen conformación e inercia de dichos inventarios.

Como ya fue demostrado en el Cap. III, dentro del "front-end of the fuel cycle", se poseen importantes inventarios de material fisionable en distintas etapas del mismo y los cuales en la actualidad tienden a optimizarse, según el desarrollo del mercado del Uranio comentado en dicho Capítulo.

Asimismo y como consecuencia del actual estado de poco desarrollo de las industrias de reprocesamiento y eliminación de combustibles "quemados" o desechos activos, se ha producido la formación de grandes inventarios de los mismos en las primeras etapas del "back-end of the fuel cycle" y que corresponden a todas

aquellas instalaciones de almacenamiento de dichos elementos combustibles "quemados".

Esta situación ha originado la aparición, en las centrales nucleares, de problemas en el mantenimiento de la "capacidad de descarga de un núcleo completo" ("full-core reserve (FCR) discharge capability" en la terminología especializada), obligando a sus propietarios y/o operadores a buscar soluciones a tal efecto y a fin de no perder la correspondiente capacidad de descarga, con la consiguiente salida de servicio de las plantas.

Varias alternativas están siendo estudiadas para incrementar la capacidad de almacenamiento de combustibles "quemados" en las centrales:

- a) Almacenamiento en racks de alta densidad ("High-density storage racks").
- b) Almacenamiento en racks doble apilados ("Double-tiered storage racks").
- c) Desmontaje de las barras combustibles y almacenamiento ("Rood consolidation") de las mismas en racks especiales.
- d) Sistemas de almacenamiento en recintos secos ("Dry Storage Systems").
- e) Transferencia de combustibles entre piletas ("Fuel transshipment").
- f) Construcción de nuevas piletas en las centrales ("At-Reactor Storage Pools").

Las distintas alternativas de solución aplicables para aumentar la capacidad de descarga de elementos combustibles "quemados", poseen sus ventajas y desventajas en función de la ubicación de las centrales, costos comparativos de las distintas alternativas, requerimientos de licenciamiento, etc., cuyo análisis escapa al alcance del presente trabajo.

A nivel mundial se estudian proyectos de construcción de "Centros de Almacenamientos" federales de combustibles "quemados" en zonas alejadas de las centrales ("away-from-reactor" (AFR) en la terminología especializada), según se muestra en fig. 7 y 8, los cuales, al presente, se encuentran en estado de estudios preliminares y ligados asimismo al desarrollo de los proyectos de "Reprocesamiento", no poseyendo los mismos, en general, apoyo oficial para su realización(67).

En la Argentina se estudia un proyecto a tal fin (informe del 1-3-83 de referencia(70)).

En la actualidad, en el mundo, las soluciones que con mayor frecuencia se aplican corresponden a las alternativas señaladas en a) y b), en función de las ventajas económicas y de licenciamiento que presentan, aunque también se opta —cuando las características de las centrales, elementos combustibles y piletas no lo permiten—, por la

construcción de nuevas instalaciones en el lugar, como la solución ya aplicada en la Argentina para la CNA-I.

Asimismo todo el movimiento del material fisionable, dentro del esquema del "Ciclo de Combustible", requiere el desarrollo de la tecnología de transporte, y con incidencia económica en la economía del mencionado Ciclo.

También existe una marcada diferencia entre las tecnologías y equipamiento en el transporte del material fisionable, en su movimiento por las etapas del "front-end of the fuel cycle" y aquellas correspondientes a las del "back-end of the fuel cycle", en virtud de la alta radioactividad que poseen los elementos combustibles dentro de las etapas de esta última parte del Ciclo.

Una recopilación sobre el estado actual de la tecnología y mercado del transporte y manipuleo de material físil y desechos radioactivos, se indica en la referencia(68).

Otra etapa del "back-end of the fuel cycle" de significativa importancia político-económica, lo constituye el "Reprocesamiento" de los elementos combustibles "quemados", cuyo objetivo es el de recuperar principalmente el Plutonio 239 generado durante el servicio nuclear de los mismos y reciclar este nuevamente en el Ciclo, con la fabricación de nuevos elementos combustibles de óxidos mixtos de Uranio y Plutonio, con lo cual se mejora el rendimiento económico de dicho Ciclo.

El "Reprocesamiento" de E.C. se ha convertido en un evento de controversia mundial, como resultado de la política de USA de posponer el reprocesamiento comercial de los mismos.

Esta política ha tenido diversos matices a través de las 2 últimas administraciones de dicho país (Carter y Reagan), las cuales quedan claramente expuestas en sendas declaraciones oficiales de dichos presidentes del 7-4-1977 y 16-7-81(2), donde de propiciar la postergación indefinida del "reprocesamiento" de elementos combustibles "quemados" prácticamente en todo el mundo, en la primera declaración señalada, no cuestiona, en la segunda oportunidad, el desarrollo de dicha industria en países con avanzados programas nucleares, en los cuales ello no se constituye en riesgos de proliferación.

Como resultado de una combinación de cuestiones de orden político, según lo manifestado precedentemente, financiero, técnico y de regulaciones particulares que sobre la materia imponen distintas naciones, existen al presente en el mundo pocas plantas de reprocesamiento con capacidades industriales, las cuales puedan

REGION	DEMANDA MUNDIAL DE REPROCESAMIENTO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE UO ₂		CAPACIDAD DE REPROCESAMIENTO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE UO ₂ (1)		
	DURANTE 1990	E.C. DESCARGADOS, ACUMULADOS A FIN DE 1990	1980	1985	1990
	TU	TU	TU/AÑO	TU/AÑO	TU/AÑO
ASIA	1,114	9,030	310	310	310
EUROPA	2,421	19,360	435	435	2,835
AMERICA LATINA	311	1,727	-	-	30
SUD AFRICA	40	260	-	-	-
USA	2,686	26,530	-	-	-
TOTAL MUNDIAL	6,572	56,907	745	745	3,175

FUENTE: GUIDE FOR MARKETING AND STRATEGIC PLANNING INTERDEVELOPMENT INC II EDITION NOV. 1981

- (1) VALORES DE PLANTAS YA EN OPERACION, O PARA LAS CUALES HAY FIRME PLANEAMIENTO DE CONSTRUCCION.
 -NO SE INCLUYEN CIFRAS DEL CANADA, DADO QUE A LA FECHA ADOPTA EL ESQUEMA DE "CICLO ABIERTO".
 -NO SE INCLUYEN CIFRAS DE E.C. DE URANIO METALICO (GGR), QUE NO SE SEGUIRAN FABRICANDO A POSTERIOR DE LA ACTUAL GENERACION DE DICHOS REACTORES Y PARA LOS CUALES EXISTE UNA ADECUADA CAPACIDAD DE REPROCESAMIENTO EN FRANCIA E INGLATERRA, TANTO PARA LOS REQUERIMIENTOS PRESENTES COMO FUTUROS.
 NO SE INCLUYEN LA REPUBLICA POPULAR DE CHINA NI LOS PAISES DEL CMEA (COUNCIL FOR MUTUAL ECONOMIC ASSISTENCE).

FIG. 27

abastecer la demanda que exigen las centrales nucleares en operación, de adoptar los respectivos países una estructura de "Ciclo de Combustible cerrado".

En la fig. 27 se indica un estado de la situación mundial de demanda de reprocesamiento versus respectivas capacidades de plantas para combustibles de Oxido de Uranio.

Respecto de los E.C. de Uranio metálico correspondiente a los reactores grafito gas —que no se seguirán explotando luego de la extinción de la presente generación—, se poseen al presente adecuadas capacidades de Reprocesamiento en Inglaterra y Francia.

Aunque existen al menos 32 diferentes procesos en varios estados de desarrollo en el mundo a fin de recuperar el Uranio y Plutonio utilizable de los elementos combustibles "quemados"(69), prácticamente uno de ellos, el llamado "Purex", es utilizado en plantas a nivel comercial y el cual fue originalmente desarrollado con propósitos militares.

Dado el incipiente estado de desarrollo industrial de esta etapa de "Reprocesamiento", su economía todavía no ha alcanzado el grado de optimización que de ella se espera dentro del "Ciclo de Combustible".

En la evolución de la estructura de costo del "Ciclo de Combustible", la componente correspondiente a la del "Reprocesamiento" ha estado siempre en constante aumento, dentro de las condiciones, niveles y experiencia industrial que sobre el particular se posee.

Una meta de orden estrictamente económico en el desarrollo de esta etapa, lo debería constituir el balance entre el "costo de cierre" del Ciclo (diferencia existente entre el costo del "Reprocesamiento" y eliminación de desechos radioactivos, y el valor de los elementos Pu y U recuperados) y el costo del almacenamiento definitivo de los elementos combustibles "quemados" "sin reprocesar", situación que al presente todavía no ha sido alcanzada dentro de un contexto comercial.

Pero la viabilidad del "Reprocesamiento" no debería ser solamente evaluada bajo un punto de vista puramente económico, sino teniendo también en consideración otros factores, tales como el desarrollo de los reactores "breeder", el cual requiere obligatoriamente el reprocesamiento de los elementos combustibles "quemados" de reactores térmicos, como así también, entre otros factores de análisis, de la mejor preservación del medio ambiente debido al me-

nor riesgo existente por el almacenamiento de desechos activos provenientes de esa industria, en lugar del almacenamiento definitivo de dichos elementos combustibles "quemados" sin reprocesar(2).

Un resumen sobre el estado actual del mercado de "Reprocesamiento" y almacenamiento de residuos radioactivos es indicado en la referencia(70).

La referencia(71) asimismo se refiere, con mayor detenimiento, a los aspectos asociados a la tecnología de tratamiento y eliminación de residuos radioactivos.

REFERENCIAS

- 1 INFCE: (International Fuel Cycle Evaluation). Comité formado por 8 grupos de trabajo destinado a la evaluación del Ciclo de Combustible y donde participaron 4 Organismos Internacionales y 40 países (Cot. 1977 a febrero 1980). La República Argentina participó en el grupo N° 6 "Spent Fuel Management".
- 2 "World Nuclear Power and its Fuel Cycle after Three Mile Island: Guide for Marketing and Strategic Planning" II Edition nov. 1981. Interdevelopment Inc. 2361 S. Jefferson Davis Highway, Ste 1014. Arlington, Virginia 22202-USA.
- 3 CMEA (Council for Mutual Economic Assistance) o COMECON, Organización, creada el 25-1-1949 en la Conferencia Internacional que se celebró en Moscú, y formada por Bulgaria, Checoslovaquia, Hungría, Polonia, Rumania y la URSS y posteriormente se adhirieron Albania (que luego se retiró), la República Democrática Alemania y Mongolia, asistiendo como observadores, Yugoslavia, República Popular de China, Corea del Norte y Vietnam del Norte. Su objetivo, en el momento de su creación, fue defender a los países miembros de la discriminación comercial que los adheridos al Plan Marshall mantenían contra el resto del mundo.
- 4 IAEA. Informe Anual para 1981 (IAEA GC (XXVI/664).
- 5 Nuclear Assurance Corporation. Nuclear Power Plant Construction in 1981: Progress and Perspectives. Mayo 1982.
- 6 Nucleonics Week, Vol. 24 N° 2 13-1-83.
- 7 "An Initial Multi-National Study of Future Energy Systems and Impacts of Some Evolving Technologies" - Brookhaven National Laboratory (USA and Julich (R.F.A.) editado dentro de la Agencia Internacional de Energía - marzo 1977.
- 8 "Steams Coal - Prospects to 2000" OCDE, Agencia Internacional de la Energía, París 1978.
- 9 "Global Prospects 1985-2000 (WAES)", MIT 1977.
- 10 Touche Ross and Co, Oklahoma Corporation Commission, Black Fox Station Economic Viability Study, Touche Ross and Co. Dallas Texas, agosto 1981.
- 11 United Engineers and Constructors Inc., Total Generating Cost: Coal and Nuclear Plants NUREG-0248, Springfield, Virginia, Febrero 1979.
- 12 Comparison of Central Station Generation Costs. Power Information Office, Tennessee Valley Authority, Chattonooga, Tennessee 1981.
- 13 Komanoff, Charles. Power Plant Cost Escalation-Nuclear and Coal Capital Cost, Regulation and Economics. Komanoff Energy Associates, New York N.Y. 1981.
- 14 "Cost Studies from four Countries", Nuclear Engineering Internation, July 1978, p. 50-52.
- 15 "Trends in Nuclear Power Costs in Sweden, "Nuclear Engineering International, Dic. 1979 p. 75-77.
- 16 Schmitt, D. and Junk H. "Kostenvergleich der Stromerzeugung auf der Basis von Kernenergie und Steinkohle. Zeitschrift für Energiewirtschaft N° 2, 1981 p. 77-86.
- 17 Departament Energie Federal Support for Nuclear Power: Reactor Design and the Fuel Cycle, Energy Policy Study, Vol. 13, DOE/EIA -0201/13 U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 1981.
- 18 Report by the Comptroller General of the U.S. "Nuclear Power Cost and Subsidies". United States General Accounting Office, Washington D.C. 13-6-79.
- 19 Subcommittee of the Committee on Government Operations, U.S. House of Representatives, "Hearing on Nuclear Power Costs, Part 1 and 2, 12-22 setiembre 1977. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 20 House Committee on Government Operations, Nuclear Power Costs U.S. Government Printing Office, 26-4-1978 Washington D.C.
- 21 Ramsay, Williams. "Unpaid Cost of Electrical Energy, Health and Environmental Impacts from Coal a Nuclear Power, the Johns Hopkins University Press, Baltimore May. 1979.
- 22 Barrager, S.M. et al. Economic and Social Costs of Coal and Nuclear Electric Generation a Framework for Assessment and Illustrative Calculation for the Coal and Nuclear Fuel Cycle, PB 81-180390, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, marzo 1976.
- 23 Moynet, G. "Electricity Production Costs in European Countries" Sixth Annual Symposium, set. 2-4-1981. Uranium Insti-

- tute. London.
- 24 *Nucleonics Week* 29 oct. 1981.
 - 25 *Capacity Data for Units in Commercial Operations or Start-up testing Nuclear Regulatory Commission Report NUREG 0020 "Operating Units Status Report"*.
 - 26 *Generation Data - Federal Power Commission Form 4 "Monthly Power Plan Report"*.
 - 27 *Energy Information Administration, U.S. D.O.E. "Monthly Energy Review"*.
 - 28 Von Harald Geier: *Übersicht Über Verfahren der Uranerzverarbeitung. Chemiker Zeitung, Sonderdruck 102 (1978) 91-99.*
 - 29 Kelmers, A.S. and Goeller, H.E. "Uranium Recovery from Low-Level Aqueous Sources ORNL/TM 7652, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, Marzo 1981.
 - 30 *Uranium "Red Book" IX Edition NEA of the OECD and IAEA (Nucleonics Week and Nuclear Fuel) 12-4-1982.*
 - 31 *Uranium 1982, Special Report Series 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel Mc Graw-Hill Inc. (informe del 2-8-82).*
 - 32 *Adaptado de table B-2 del "Statistical Data of the Uranium Industry" GJ0-100 (81) enero 1981.*
 - 33 *Uranium 1982, Special Report Series 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel Mc Graw-Hill Inc. (informes del: 18-1-82 pág. 9; 15-3-82 pág. 37; 15-3-82 pág. 42; 7-6-82 pág. 88; 21-6-82 pág. 7; 16-8-82 pág. 129; 25-10-82 pág. 170).*
 - 34 *Ibidem (informes del: 26-4-82 pág. 62; 10-5-82 pág. 69; 21-6-82 pág. 100; 16-8-82 pág. 130; 25-10-82 pág. 170).*
 - 35 *Ibidem (informes del: 5-7-82 pág. 103; 6-7-82 pág. 105; 2-8-82 pág. 120; 30-8-82 pág. 135; 25-10-82 pág. 166; 8-11-82 pág. 176; 22-11-82 pág. 182; 6-12-82 pág. 186).*
 - 36 Leamon G.E. and Greene C.H. *U₃O₈ Commitment Status and Historical Price Level "Up Date No 13. Nuclear Assurance Corporation" agosto 1982.*
 - 37 Huwyler, S. *Uranium Recovery from Phosphates and Phosphoric Acid Production, Erdgenoessisches Institut fuer Reaktor forschung, Wuerenlingen, Switzerland, 1980.*
 - 38 Bennett, L.L. *Estimated Natural Uranium Requirements to the Year 2000, International Atomic Energy Agency Bulletin, Jun. 1981. pág. 8 y 9.*
 - 39 Neff, T.L. and Jacoby H.D. *The International Uranium Market. MIT Energy Laboratory Report No MIT-EL 80-014, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts Dic. 1980.*
 - 40 *Uranium Institute, The Uranium Equation. The Balance of Supply and Demand 1980-1995. Mining Journal Books Ltd, Eldenbridge, Kent England, 1981.*
 - 41 *International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, Fuel and Heavy, Water Availability: Report of Working Group 1, INFCE/pc 2/1, International Atomic Energy Agency, Vienna, January 1980.*
 - 42 *OECD Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency, Uranium Resources. Production and Demand. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, Dic. 1979.*
 - 43 Darmayon, Ph. *The Economics of Uranium Supply and Demand, International Atomic Energy Agency Bulletin, June 1981 pág. 3-7.*
 - 44 Hansen, M.V. *World Uranium Resources. Ibidem pág. 10-14.*
 - 45 *World Mines Register 1981-1982, World Mining, San Francisco California (US) 1981.*
 - 46 *1981 Mining Annual Review, Mining Journal Ltd. London, England, 1981.*
 - 47 *NUS Corporation, Foreign Uranium Supply, EPRI EA-725. Electric Power Research Institute. Palo Alto, California (USA) April 1978.*
 - 48 Douglas, Hugh, *Uranium Availability Resources and Cost. Nuclear Engineering International, November, 1978, pág. 35-39.*
 - 49 Patterson, J.A., and Pitman, R.K. *Foreign Uranium Outlook, Uranium Industry Seminar, Grand Junction, Colorado, October 21-22 1981, Bendix Field Engineering Corp. Grand Junction, Colorado (USA).*
 - 50 *Survey of United States Uranium Marketing Activity, DOE/NE 0013, National Technical Information Service, Springfield, Virginia USA June 1981.*
 - 51 *Statistical Data of the Uranium Industry, GJ0-100 (81), Bendix Field Engineering Corp. Grand Junction Colorado, USA, January 1, 1981*
 - 52 *Uranium Deposits in Latin America: Geology and Exploration 0086 - ISP505, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1981.*
 - 53 Dienes, L. and Shabad, T. "Geography of Uranium Resources, The Soviet Energy System Resources Use and politics, V.H' Winston and Sons, Washington, D.C. 1970, pág. 170-182.
 - 54 Mathieson, R.S., *The Soviet Uranium Industry, a Comprehensive Bibliography INIS-mf- 6368, Sydney University, Sydney, Australia, 1980.*
 - 55 *Uranium 1982, Special Report Serie 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel Mc Graw-Hill Inc. (informe del 18-1-82).*
 - 56 *Nucleonics Week, Vol. 24 No 4 enero 1983.*
 - 57 *URENCO/CENTEC programa en conjunto inglés-holandés y alemán para el enriquecimiento de Uranio por proceso de gas-centrí-*

fugación, llevada a cabo por 2 compañías: URENCO Ltd. de Inglaterra (33% British Nuclear Fuel Ltd. (BNFL); 33% Ultra-Centrifuge Nederland N.V. (UCN) y 33% Uran-Isotopentrennungsgesellschaft m.b.h. (Uranit) y CENTEC (Gesellschaft für Centrifugentechnik m.b.h.) de Alemania, la cual es poseída en partes iguales por BNFL, Gesellschaft für Nukleare Verfahrenstechnik m.b.h. (G_NV) y UCN. URENCO es responsable del diseño, desarrollos y suministros a la planta.

58 Uranium 1982, Special Report Serie 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel Mc Graw-Hill Inc. (informe del 26-4-82).

59 Ibidem (informe del 21-6-82).

60 Ibidem (informe del 20-9-82).

61 Nucleonics Week Vol. 23 Nº 48 del 2-12-82.

62 Uranium 1982, Special Report Serie 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel Mc Graw-Hill Inc. (informe del 2-8-82).

63 Nucleonics Week Vol. 24 Nº 12 del

24-3-83.

64 Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina Memoria Anual 1981 - Mar. 1983.

65 Nuclear Assurance Corporation "Up Date" Nº 14 oct. 1982.

66 Nucleonics Week Vol. 24 Nº 4 del 24-1-82.

67 Charles C. Hoffman. Focus On: Spent-fuel Storage at U.S. Reactors Nuclear Assurance Corporation. "Up Date" Nº 13 Agosto 82.

68 Waste Handling and Transportation, 1982, Special Report Serie 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel Mc Graw-Hill Inc.

69 Nuclear Engineering International. Agosto 1978.

70 Fuel Reprocessing and Storage, 1982, Serie 9 Nucleonics Week and Nuclear Fuel, Mc Graw-Hill Inc.

71 David Deese Nuclear Power and Radioactive Waste D.C. Heath and Company (Lexington-Book) Lexington, Massachusetts, USA 1978 (existe traducción de Edisar S.R.L. Bs.As. 1981).

SERVICIO I.A. 40



SUPERCEMENTO

SOCIEDAD ANONIMA INDUSTRIAL Y COMERCIAL

**Presentes en la
Actividad
Nuclear, Ingeniería y
Construcciones**

Olazabal 2877 Buenos Aires Argentina
Tel.: 781-4071/9 Télex 21738 COVIA AR

SERVICIO I.A. 41