

Cálculo de la demanda futura en materia de uranio y de servicios del ciclo del combustible nuclear

Por Rurik Krymm y Georg Woite

Un simple examen de las predicciones efectuadas en los últimos años demuestra claramente la imprecisión de las proyecciones de la capacidad de generación nucleoelectrica, tanto sobre una base mundial como regional o por países. El Cuadro 1, que resume la evolución de las estimaciones realizadas recientemente, debería servir para subrayar la conveniencia de utilizar gamas de valores en vez de cifras absolutas.

Sin embargo, con todas sus imprecisiones, esos cálculos no son sino un primer paso cuando se trata de prever la demanda futura en materia de uranio y de servicios del ciclo del combustible nuclear. Las estimaciones generales sobre la capacidad nucleoelectrica total son insuficientes y es preciso por tanto complementarlas con análisis detallados por tipo de reactor que comprendan todo el período considerado en el estudio. Deben conocerse o suponerse las futuras características operacionales para cada una de las categorías. Deben formularse diversas hipótesis en materia de criterios de gestión de combustible en relación con aspectos de tanta importancia como son, por ejemplo, la reelaboración y el reciclado del uranio y del plutonio y la evaluación de desechos de las plantas de enriquecimiento. En tales condiciones, la gama de posibilidades se amplía en tal medida que su descripción resulta difícil y su interpretación confusa. Por ejemplo, si se admiten tres supuestos razonables para cada uno de los cinco parámetros principales (capacidad nuclear total, combinación de tipos de reactores, reciclado, evaluación de desechos y factor de carga), será preciso establecer e interpretar no menos de 243 series de curvas de demanda.

A los fines de este breve estudio, se ha reducido al mínimo el número de supuestos y se han limitado a dos los aspectos principales: capacidad nuclear total y reciclado. Se supone que los demás parámetros pertinentes permanecen constantes a niveles que se juzgan razonables en las actuales circunstancias, haciéndose una breve referencia, en la conclusión de este trabajo, a la sensibilidad de los resultados en cuanto a su posible variación.

Los posibles supuestos sobre el reciclado se explican a continuación, pero es pertinente dar ahora algunas aclaraciones sobre los supuestos de la capacidad nucleoelectrica total que aparecen en el Cuadro 2. Esas estimaciones pueden parecer excesivamente prudentes en comparación con las que figuran en recientes publicaciones tales como el informe conjunto OIEA/AEN/OCDE sobre los recursos, la producción y la demanda de uranio, editado a fines de 1975. En verdad, las cifras indicadas pueden resultar muy bajas respecto del último decenio de este siglo. Pero al calcularlas se han tenido en cuenta las reducciones más recientes que por diversas causas se han introducido en los programas de los principales países industrializados, así como las rígidas limitaciones que las dificultades de financiamiento y la escasez de mano de obra calificada pueden imponer a los países en desarrollo en sus esfuerzos por integrar la energía nucleoelectrica en sus sistemas de abastecimiento de electricidad. Ya se ha insistido lo suficiente acerca de la variabilidad de los pronósticos para que resulte evidente que éstos están sujetos a revisiones constantes.

El Dr. Krymm es el Jefe de la Sección de Estudios Económicos, División de Energía Nucleoelectrica y Reactores; el Sr. Woite pertenece al personal de esa Sección.

SUPUESTOS

A fin de calcular la demanda de uranio y de servicios del ciclo del combustible nuclear, se parte del supuesto de que las centrales nucleoelectricas consistirán en reactores de agua ligera (LWR), reactores de agua pesada (HWR) y reactores de regeneración rápida (FBR). Se supone asimismo que en 1990 la aportación de los distintos tipos a la capacidad nuclear total instalada será del orden del 93% en el caso de los reactores LWR, del 5% en el de los HWR y del 2% para los reactores FBR y de otros tipos. Se ha supuesto que en el año 2000 la aportación de los reactores FBR alcanzará al 5% y que la del LWR descenderá al 90%.

Cuadro 1: Evolución de las estimaciones del crecimiento mundial de la energía nucleoelectrica (No incluidos los países de economía centralmente planificada)

Estimación para	Fecha de la estimación				
	1969	1970	1973	1975	1976 (preliminar)
	Capacidad instalada al final de cada año, en GW(e)				
1970	25,6	18	14	—	—
1975	101-125	118	94	71	69
1980	235-330	300	264	179-192	178
1985	—	610	567	475-525	350-400
1990	—	—	1070	875-1000	550-750
2000	—	—	—	2000-2500	1500-1800

Estimaciones conjuntas OIEA/AEN(OCDE) basadas en información recibida de los Gobiernos de Estados Miembros.

Cuadro 2: Distribución por regiones de las estimaciones de la energía nucleoelectrica efectuadas en 1976 para los países de economía no centralizada

	1975	1980	1985	1990	2000
América del Norte	43	88	150-170	230-310	650-750
Europa occidental	18	68	150-170	220-290	600-700
Japón, Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica	7	16	30-40	60-80	130-160
Países en desarrollo	1	5	20-25	50-60	150-200
Total ¹	69	178	350-400	550-750	1500-1800

¹ En vista de los amplios márgenes de incertidumbre, se han redondeado los totales.

80 Cuadro 3: Características de los reactores de potencia¹

	PWR	BWR	HWR	FBR
1. Carga inicial				
Uranio (t/GW(e))	79	114	143	50
Enriquecimiento inicial medio (% en peso de ²³⁵ U)	2,38	2,03	0,711	empobrecido
Uranio natural requerido (t/GW(e))	372	444	145	—
Trabajo de separación requerido (1000 SWU/GW(e))	209	227	—	—
Plutonio fisionable requerido (t de Pu/GW(e))	—	—	—	2,5
2. Cargas sucesivas				
Uranio (t/GW(e) · año)	33,8	39,4	168	20
Enriquecimiento del combustible nuevo (% en peso de ²³⁵ U)	3,2	2,7	0,711	empobrecido
Uranio natural requerido (t/GW(e) · año)	221	211	170	—
Trabajo de separación requerido (1000 SWU/GW(e) · año)	145	129	—	—
Plutonio fisionable requerido (t de Pu/GW(e) · año)	—	—	—	1,2
3. Combustible irradiado				
Quemado (MWd/kg)	32,5	27,5	7,5	2-66 ²
Uranio (t/GW(e) · año)	32,8	38,4	166	18
Enriquecimiento medio (% en peso de ²³⁵ U)	0,90	0,83	empobrecido	empobrecido
Uranio natural equivalente (t/GW(e) · año)	44,7	46,6	—	—
Trabajo de separación equivalente (1000 SWU/GW(e) · año)	6,3	4,3	—	—
Plutonio fisionable (t de Pu/GW(e) · año)	0,22	0,21	0,43	1,35

¹ Las cantidades de combustible se expresan en toneladas métricas de metal pesado; concentración de las colas = 0,25%; 1 GE(e) · año = 8760 GWh.

² Según su posición en el núcleo o en la zona fértil.

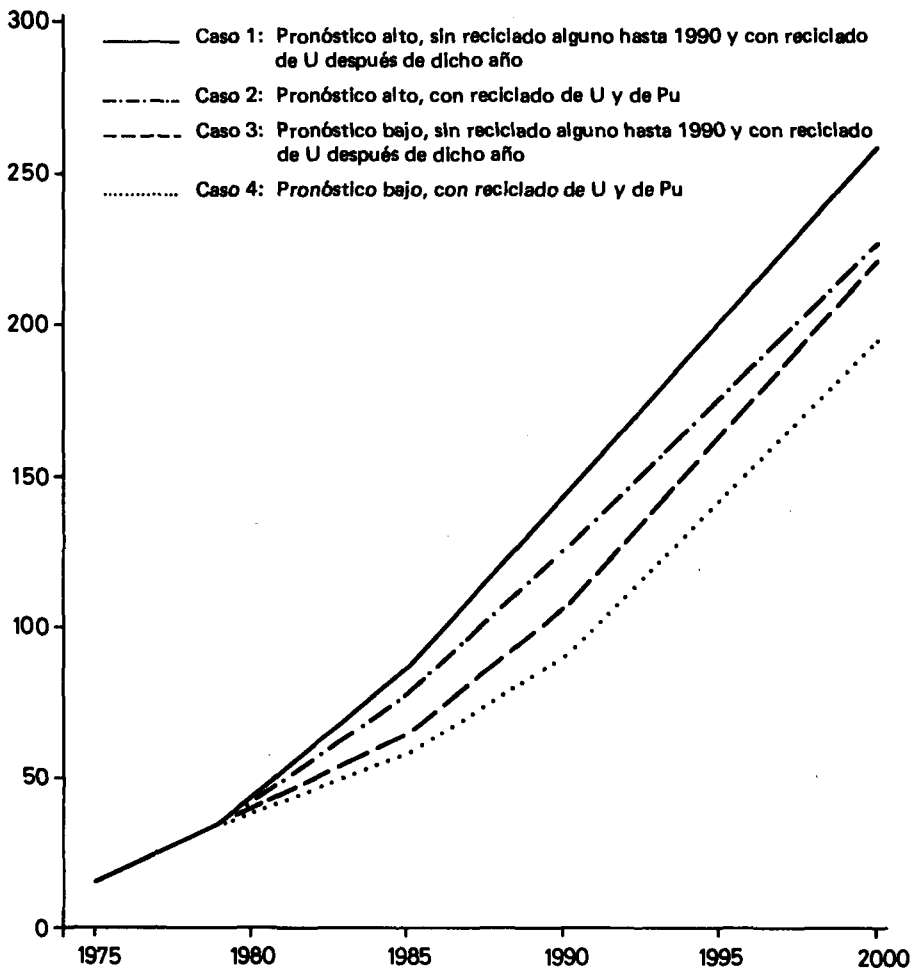
Cuadro 4: Plazos necesarios, en años, dentro del ciclo del combustible

Tipo de reactor	LWR		HWR		FBR	
	Carga inicial	Recarga	Carga inicial	Recarga	Carga inicial	Recarga
De la planta de concentración y refinado a la Planta de transformación, de ésta a la Planta de enriquecimiento, de ésta a la Planta de fabricación, de ésta al Emplazamiento del reactor, de éste al Final de los ensayos del combustible, de éstos al Comienzo de la operación	0,25	0,25	↕ 0,5	↕ 0,5	↕ 0,5	↕ 0,5
	0,25	0,25			0,25	0,25
	0,5	0,25				
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Del final de la operación a la Descarga del reactor Extracción del estanque de almacenamiento, de ésta a la Salida del almacén central, de ésta a la Salida de la planta de reelaboración	0,25	0,1	0,25	0,1	0,25	0,1
	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
	0,1	0,1	Recarga continua; al no conocerse debidamente los aspectos económicos de la reelaboración, no se ha supuesto reelaboración alguna de combustible para los HWR			
Del final de la operación a la Descarga del reactor Extracción del estanque de almacenamiento, de ésta a la Salida del almacén central, de ésta a la Salida de la planta de reelaboración	0,1	0,1	Recarga continua; al no conocerse debidamente los aspectos económicos de la reelaboración, no se ha supuesto reelaboración alguna de combustible para los HWR			
	0,8	0,8	Recarga continua; al no conocerse debidamente los aspectos económicos de la reelaboración, no se ha supuesto reelaboración alguna de combustible para los HWR			
	5,0 ¹	5,0 ¹	Recarga continua; al no conocerse debidamente los aspectos económicos de la reelaboración, no se ha supuesto reelaboración alguna de combustible para los HWR			
Del final de la operación a la Descarga del reactor Extracción del estanque de almacenamiento, de ésta a la Salida del almacén central, de ésta a la Salida de la planta de reelaboración	0,2	0,2	Recarga continua; al no conocerse debidamente los aspectos económicos de la reelaboración, no se ha supuesto reelaboración alguna de combustible para los HWR			
	0,2	0,2	Recarga continua; al no conocerse debidamente los aspectos económicos de la reelaboración, no se ha supuesto reelaboración alguna de combustible para los HWR			

¹ Se ha supuesto una demora de 5 años para las operaciones hasta 1990 y de un año para las realizadas después de 1990.

Figura 1: Necesidades anuales de uranio en el mundo entero¹

MILES DE TONELADAS METRICAS



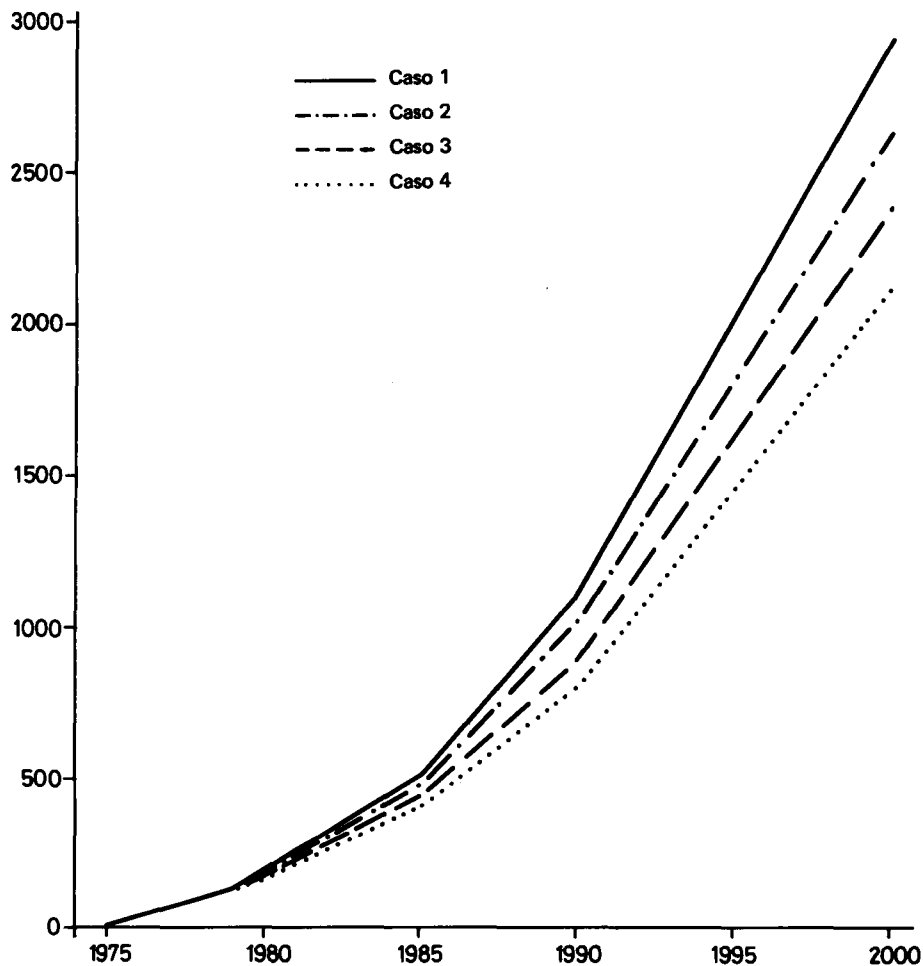
¹ No se incluyen los países de economía centralmente planificada

En el Cuadro 3 se resumen las características del ciclo del combustible nuclear de estos tipos de reactores. Para los cálculos se ha supuesto que la concentración de las colas será del 0,25% y que el factor constante de carga será del orden del 70%. En el Cuadro 4 se presentan los períodos de tiempo calculados para el ciclo del combustible nuclear. Se observará que hasta el año 1990 se ha estimado un período de cinco años, y de un año a partir de esa fecha.

Sobre la base de los pronósticos de capacidad nucleoelectrica que aparecen en el Cuadro 2 y de los anteriores supuestos, se han calculado las necesidades de uranio y de los servicios

Figura 2: Necesidades acumulativas de uranio en el mundo entero¹

MILES DE TONELADAS METRICAS



¹ No se incluyen los países de economía centralmente planificada

del ciclo del combustible nuclear. Para indicar la influencia de algunos de los principales parámetros, se realizaron cálculos correspondientes a cuatro casos:

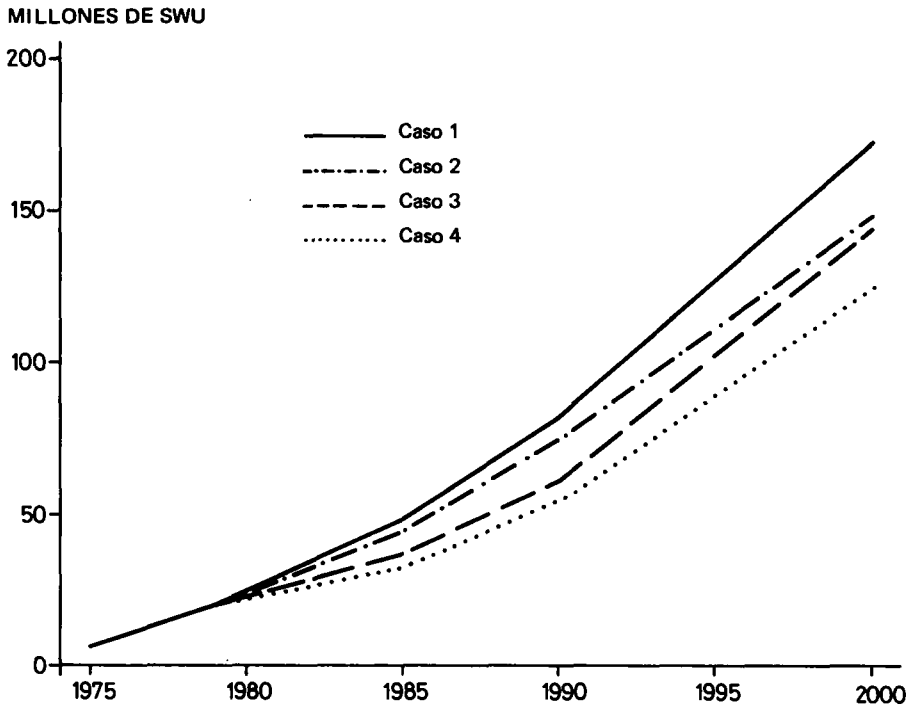
Caso 1: Pronóstico elevado, sin reciclado hasta 1990, reciclándose el uranio después de 1990;

Caso 2: Pronóstico elevado, reciclado de uranio y de plutonio desde 1981 en adelante;

Caso 3: Pronóstico bajo, sin reciclado hasta 1990, reciclado del uranio después de 1990;

Caso 4: Pronóstico bajo, reciclado del uranio y del plutonio desde 1981 en adelante.

Figura 3: Necesidades anuales de trabajo de separación en el mundo entero¹



¹ No se incluyen los países de economía centralmente planificada

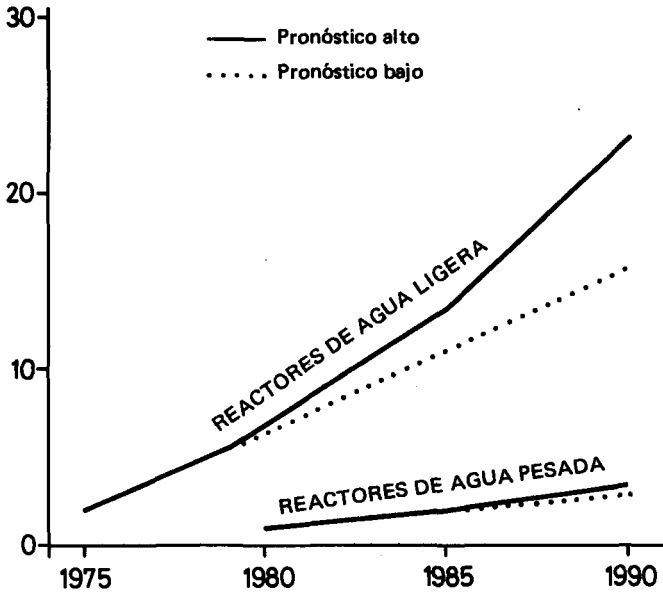
CALCULOS DE LA DEMANDA DE URANIO Y DE SERVICIOS DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Necesidades de uranio. Se estima que en 1980 las necesidades de uranio alcanzarán unas 40 000 toneladas métricas anuales de metal pesado (Fig.1). Para 1990, se calcula que las necesidades de uranio variarán entre 90 000 toneladas anuales (Caso 4: pronóstico bajo, reciclado del uranio y del plutonio) y 140 000 toneladas anuales (Caso 1: pronóstico elevado, sin reciclado). Se calcula que las necesidades correspondientes al año 2000 variarán entre 200 000 y 300 000 toneladas anuales. Se estima que las necesidades acumulativas de uranio se cifrarán en 1990 entre unas 800 000 y 1 millón de toneladas, y que en el año 2000 serán de 2 a 3 millones de toneladas anuales (Fig.2). Es interesante observar que se necesitarían aproximadamente esas mismas cantidades (de 1,8 a 2,6 millones de toneladas) para abastecer de combustible durante toda su vida útil a los reactores de tipo LWR que se supone funcionarán en el año 1990.

Necesidades de trabajo de separación. Las necesidades anuales de trabajo de separación se calculan en unos 22×10^6 SWU anuales para 1980 y de 55×10^6 a 80×10^6 SWU anuales para 1990 (Fig.3). Para el año 2000, los cálculos varían entre 120×10^6 (pronóstico bajo, reciclado del uranio y del plutonio) y 180×10^6 SWU anuales (pronóstico elevado, sin reciclado).

Figura 4: Necesidades anuales de fabricación¹

MILES DE TONELADAS METRICAS



¹ No se incluyen los países de economía centralmente planificada

Necesidades de fabricación. Se calcula que las necesidades anuales de fabricación de combustible para reactores LWR alcanzarán a unas 6000 toneladas (metal pesado) en 1980, y de 16 000 a 23 000 toneladas en 1990 (Fig.4).

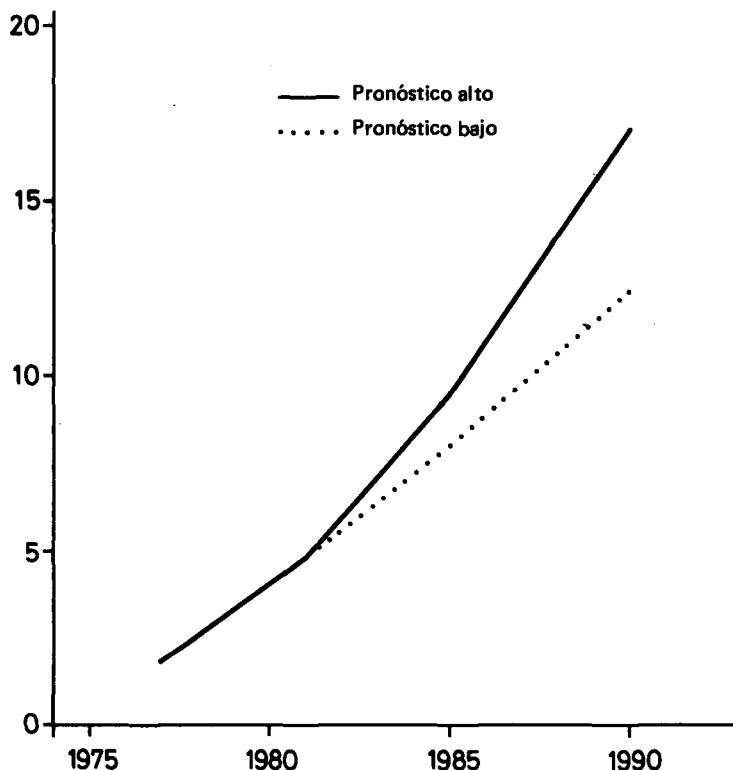
Necesidades de reelaboración. Se estima que las necesidades anuales de reelaboración de combustible para LWR alcanzarán a unas 4000 toneladas (metal pesado) en 1980 y entre 12 000 y 17 000 toneladas en 1990 (Fig.5). Las capacidades de reelaboración proyectadas resultan inadecuadas para satisfacer tal demanda. Podrían producirse mayores demoras en la habilitación de plantas de reelaboración. Sería necesario, en consecuencia, almacenar una reserva de combustible irradiado suficiente para varios años.

CONCLUSIONES PROVISIONALES

A pesar de la gama relativamente reducida de supuestos sobre la capacidad nucleoelectrica que se han utilizado, las estimaciones concurrentes obtenidas de la demanda del uranio y de servicios del ciclo del combustible nuclear difieren en un 50%. Si se tuvieran en cuenta ciertas variaciones aceptables en materia de una utilización más difundida de reactores reproductores, factores de carga, concentración de las colas y rendimiento del combustible, podría llegarse fácilmente a una relación de 2 entre el máximo y el mínimo posibles de la

Figura 5: Necesidades anuales de reelaboración de combustible para reactores de agua ligera¹

MILES DE TONELADAS METRICAS



¹ No se incluyen los países de economía centralmente planificada

demanda para el año 2000. Así, por ejemplo, una utilización del 15% (en vez del 5%) de reactores reproductores hacia el año 2000, disminuiría en un 10% la demanda anual de uranio natural; la reducción del factor de carga del 0,7 al 0,6 disminuiría la demanda en otro 10%; y una reducción de la concentración de las colas del 0,25% al 0,2% disminuiría la demanda en un 8%.

Estas importantes variaciones, características de las previsiones a medio y largo plazo, presentan un marcado contraste con la inflexibilidad de las necesidades a corto plazo. Una vez ordenada en firme una planta nuclear, la demanda de servicios de combustibles necesarios para su primer núcleo y para sus recargas queda prácticamente fijada (con ajustes de poca monta) y su postergación solo es posible a un costo adicional sumamente elevado).

La demanda de uranio se caracteriza porque es incierta en el futuro e inelástica en el presente. Depende de fuentes de abastecimiento que, exceptuándose las instalaciones de

fabricación y de conversión, requieren largo tiempo para su planificación, prolongados trabajos de prospección y de construcción y, sobre todo, exigen la inversión de ingentes capitales.

La combinación de todos estos factores presenta las condiciones casi ideales para la inestabilidad de precios, que resultan sometidos a fluctuaciones desenfrenadas si no existen acuerdos entre consumidores y proveedores, quienes se guían únicamente por sus previsiones, siempre cambiantes, de las tendencias futuras del mercado. El prolongado estancamiento de los precios del uranio, a niveles anormalmente bajos, al que siguió en menos de tres años un aumento del orden del 600 al 700% para las entregas inmediatas, debería ser argumento suficientemente convincente para que los interesados no confíen en que el libre juego del mercado — ¡Oh, manes de Adam Smith! — bastará para conducir por el mejor camino posible el desarrollo de la energía nucleoelectrica.

Por tanto, es indispensable la cooperación entre los consumidores y los productores de uranio y suministradores de servicios del ciclo del combustible nuclear. Algo se ha logrado en este sentido en las esferas del enriquecimiento y de la reelaboración, aunque todavía queda mucho por hacer en estos aspectos. Pero es mucho mayor aún lo que debe lograrse en cuanto a la prospección, producción y suministro de uranio. Sería altamente beneficioso para todos que se llegara a un acuerdo de cooperación de ese tipo que permitiera la participación conjunta tanto en la obra de planificación como en la equitativa distribución de los riesgos financieros, y ello oportunamente y no como resultado de amargos conflictos y fracasos.