Ciclo del combustible nuclear

La economía de la oferta y la demanda de uranio

por Ph. Darmayan*

El uranio tiene un mercado aún joven, cuyas "leyes" todavía no son totalmente claras, hecho que parece desorientar a los observadores y a quienes tienen que tomar decisiones, a los que interesaría poder prever su desarrollo. Presenta cierto número de características que acusan una aguda diferencia respecto de los mercados de otros minerales, incluyendo otros productos energéticos.

En primer lugar, *las aplicaciones del uranio son muy pocas,* quedando limitadas prácticamente a la tecnología con fines militares y a la industria nucleoeléctrica civil. Entre 1942 y 1974, las necesidades militares absorbieron más de 200 000 toneladas de uranio, o sea casi el 50% de la producción acumulativa mundial de ese período. Las necesidades de esa índole ya no desempeñan hoy un papel importante, y la producción de electricidad es actualmente el único factor determinante de la marcha del mercado de uranio. Son contados los otros metales que tienen aplicaciones tan limitadas: entre ellos se encuentra el bario (utilizado casi totalmente bajo forma de barita en las operaciones de perforación de pozos petrolíferos), el galio (empleado en la fabricación de diodos y de superconductores), y el titanio (en aeronaves).

La segunda característica que cabe observar es la de que *no existen sustitutos directos del uranio.* en una central nucleoeléctrica completa, que funcione con uranio, no se puede reemplazar éste por ningún otro combustible. Esta casi imposibilidad de sustituirlo – a no ser que se efectúen modificaciones lentas y costosas del sistema de producción eléctrica – podría ser el único caso conocido respecto de metal. Hasta el bario, el galio y el titanio se pueden reemplazar por otros metales en el caso en que su precio se haga excesivo. Por ejemplo, la mayoría de los artículos de titanio se pueden fabricar con aluminio o aceros especiales.

En tercer lugar, el uranio presenta también *características económicas poco corrientes* si se compara con otras materias primas empleadas en la producción energética. El tratamiento del mineral representa una proporción sumamente grande – alrededor del 88% – del costo final del conjunto de combustible que entra en el reactor nuclear, en contraste con el 42% y 33%, respectivamente, en el caso de las centrales eléctricas que funcionan con carbón o petróleo. Pero el valor absoluto del costo del combustible nuclear es bajo, lo cual, a pesar de los elevados costos de la fase inicial (principalmente en lo que se refiere a las plantas de enriquecimiento y a los costos de la central nucleoeléctrica propiamente dicha), permite la previsibilidad del costo total de una central nucleoeléctrica. Un efecto práctico de este bajo costo del combustible nuclear es que el uranio necesario para abastecer una central durante su vida útil, que se puede extender hasta 30 años, puede considerarse como comprometido, con independencia casi completa de los cambios del costo del uranio natural.

En cuarto lugar, en lo que se refiere a los *costos de transporte y almacenamiento,* el uranio presenta ventajas con respecto a otras fuentes energéticas, incluyendo especialmente el petróleo y el carbón (véase el Cuadro 1). Esta facilidad de almacenamiento, sumada a la necesidad experimentada por los explotadores de las centrales nucleoeléctricas de contar con un suministro asegurado de combustible a largo plazo, explican las grandes dimensiones de las reservas que en todo el mundo poseen las empresas nucleoeléctricas (93 000 toneladas de uranio a fines de 1979).

* El Sr. Darmayan es economista de la compañía Uranium Pechiney Ugine Kuhlmann, y convocador del grupo de trabajo del Instituto del Uranio encargado del estudio de la economía de la oferta y la demanda. El autor agradece a sus colegas del Instituto la ayuda recibida en la preparación del presente artículo.

Cuadro 1. Necesidades anuales de combustible de una central nucleoeléctrica de 1000 MWe [1]

	Carbón	Petróleo	Nucleoeléctrica (PWR)
Cantidad de combustible	$2{,}2 \times 10^6$ toneladas equivalentes de carbón	$1{,}5 \times 10^6$ toneladas equivalentes de petróleo	150 toneladas de uranio natural
Almacenamiento de combustible	40ha (400 × 100m)	25ha (50 tanques de 30 000m³)	<50m² (66 contenedores de 3t)
Costes de combustible (en francos franceses, aproximadamente)	450 millones	600 millones	60 millones
Transporte	22 transportes de 100 000t – uno cada 16 días	1500 barcazas de 1000 t – 4 por día	2 vagones de ferrocarril o siete vehículos de transporte por carretera

Cuadro 2. Estimación MEPECP de la capacidad eléctrica instalada (GWe) [2]

	DOE (mínima) 1980	NAC 1980	Instituto del Uranio (mínimo) comprometido 1980	NUKEM 1980	DOE (máxima) 1980	Instituto del Uranio (máximo) comprometido y no comprometido 1980	INFCE (mínima) 1979	NUEXCO 1980	Empresa NAC basada en 1980	INFCE (máxima) 1979
1985	209	208	227	227	242	227	245	264	264	274
1990	292	306	335	345	360	350	373	328	375	462
1995	388	395	356	—	493	494	550	—	—	770

Por último, la industria nuclear es una actividad que aplica en su planificación plazos de *instalación sumamente largos.* En lo que se refiere tanto a las minas de uranio como a las instalaciones de generación eléctrica, pueden transcurrir diez años o más entre el momento en que se decide poner en ejecución un proyecto, y la entrada en funcionamiento de una nueva mina o una central nucleoeléctrica. A causa de tan largos plazos, desde un punto de vista práctico se puede considerar que el límite superior de la capacidad nuclear instalada así como la capacidad de las plantas de enriquecimiento ya se han decidido hasta el final del decenio actual. Y, por una razón similar, se conocen con un alto grado de certeza los niveles máximos de la capacidad de producción uranífera con que se podrá contar para entonces.

Por todas esas rezones, el mercado de uranio depende en gran medida de los pronósticos de la producción nucleoléctrica y de las perspectivas del mercado en lo que se refiere a las principales fases del ciclo del combustible nuclear, especialmente el enriquecimiento. Sin embargo, estas dependencias no protegen por completo al mercado de uranio contra la necesidad de tener que hacer frente a situaciones mal definidas relativas al equilibrio entre el abastecimiento y la demanda durante el decenio de 1980 y años posteriores. Las reducciones sustanciales de los programas nucleoeléctricos observadas desde 1976, un exceso de capacidad del mercado de enriquecimiento de combustible y la prolongación de las demoras para poner en funcionamiento nuevas instalaciones nucleares, además de la flexibilidad que confiere la facilidad de almacenaje del uranio, son características que justifican el análisis detenido y continuo del equilibrio entre la oferta y la demanda de uranio.

El Instituto del Uranio, que fue creado en 1975, es una asociación industrial internacional cuyos miembros comprenden representantes tanto de los productores de uranio como de las empresas de electricidad. Más de 50 importantes organizaciones de 14 países participan en su labor. Uno de los objetivos más importantes del Instituto es utilizar la experiencia de sus miembros para obtener un mejor conocimiento de la economía del mercado de uranio. Los estudios del Comité de Oferta y de Demanda, que existe desde 1978, han constituido la base principal de esta tarea, la cual consiste en analizar las perspectivas de la oferta y la demanda de uranio y en publicar informes que aclaren los factores que configuran el mercado. Además, en septiembre de cada año, el Instituto convoca un simposio en el que numerosas organizaciones, entre las que se encuentran productores, consumidores, consultores y organismos gubernamentales, examinan la economía del mercado de uranio.

El Comité de Oferta y de Demanda del Instituto se ocupa actualmente de poner al día sus previsiones, y más tarde en el año en curso publicará un nuevo informe. Entretanto es posible prever con un buen grado de exactitud las tendencias probables mediante una proyección de las características del mercado de uranio que se reflejan detalladamente en los documentos presentados en los simposios anteriores del Instituto.

Flexibilidad de la demanda

Las previsiones hechas por el Instituto del Uranio en septiembre de 1980 sobre el aumento de la capacidad nuclear en el período que se extiende hasta 1995 se resumen en el Cuadro 2. De acuerdo a estos cálculos*, que toman en cuenta todos los reactores actualmente en funcionamiento, en construcción o que son objeto (a fines de septiembre de 1980) de un encargo en firme, la capacidad nuclear en 1985 será de 227 GWe y en 1990 de 335 GWe. Si todos los reactores proyectados (en septiembre de 1980) se añaden a estas cifras, los cálculos alcanzarían 350 GWe y 494 GWe para 1990 y 1995 respectivamente.

Estas proyecciones tienen en cuenta el estado de adelanto de cada reactor en construcción por separado y la situación con respecto al desarrollo de la energía nucleoeléctrica logrado en cada país. Fuera de los Estados Unidos, las previsiones del Instituto parten de la base de que los plazos de construcción no han de exceder de seis años. Se considera que solo unas 20 centrales, todas las cuales se encuentran todavía en una etapa inicial de construcción, tropiezan con dificultades y no podrán entrar en funcionamiento normal antes 8 o 10 años. En lo que respecta a los Estados Unidos, se ha supuesto un calendario de habilitación superior a 10 años; es demasiado pronto todavía evaluar las repercusiones futuras que han de tener sobre dichos calendarios las indicaciones recientes de una actitud más favorable a la energía nucleoeléctrica.

Además de las proyecciones de capacidad nuclear, los principales factores que influencian la demanda de uranio son la concentración de las colas utilizadas en las plantas de enriquecimiento, y la posibilidad del reciclar el uranio y el plutonio en los reactores PWR y FBR después de la reelaboración del combustible irradiado. Las técnicas de enriquecimiento actuales permiten que la concentración de las colas varíen entre 0,15 y 0,30%. Otros métodos, que todavía se encuentran en la etapa

* Los cálculos correspondientes efectuados por la Evaluación Internacional del Ciclo del Combustible Nuclear figuran en el artículo del Sr. Bennett recogido en la página 8 del presente Boletín.

Cuadro 3. Posible reducción de las necesidades de uranio como consecuencia de ciertos cambios en el ciclo del combustible [1]

Cambios en el tratamiento	Reducción del aprovisionamiento U (%)
Reducción de las concentraciones de las colas a:	
0,15%	7,3
0,10%	13,4
0,05%	18,6
reelaboración/reciclado de:	
uranio	19,0
uranio/plutonio	30,0
reactor reproductor rápido en utilización completa:	99,0 aproximadamente

En el caso del recicaldo, se obtendrán estas economías solo años más tarde. Las reducciones expuestas son valores relativos a un caso normal: colas 0,20%; producto de salida 3,25% de U-235; sin reciclado.

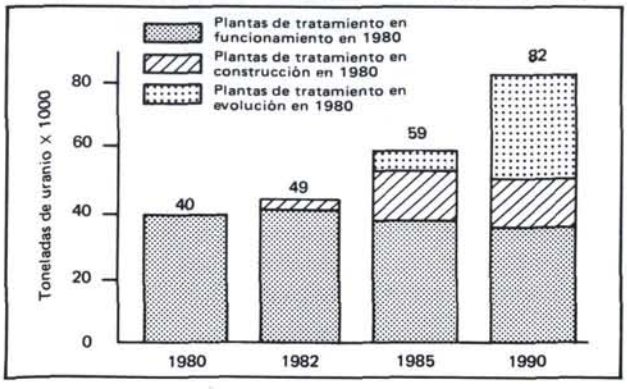
experimental, permitirían que estos límites se reduzcan hasta el 0,10 y aún el 0,05%. El Cuadro 3 ofrece una indicación de la medida en que se podría reducir el consumo de uranio variando el porcentaje de concentración, con respecto a un punto de referencia definido por un producto de concentración de 3,25% de U-235, con concentración de colas de 0,20% y sin reciclado del combustible.

Sin embargo, la flexibilidad que en teoría existe en cuanto a las características de la demanda no siempre existe en la práctica en las instalaciones ya que las empresas de enriquecimiento solo permiten que sus clientes escojan concentraciones de colas entre 0,20 y 0,30% y con un aviso previo de 15 meses a cuatro años. La elección depende en gran medida del precio del uranio natural y del trabajo de separación (es decir, esencialmente, el costo de la electricidad del proceso de enriquecimiento). De acuerdo a la concentración de colas escogidas, la demanda puede variar hasta en un 20%, factor de gran importancia en el equilibrio general de la oferta y la demanda.

Flexibilidades de la oferta de uranio

Hasta 1979, la cuestión de determinar si la industria minera se encontraba en condiciones de producir bastante uranio para evitar la escasez del producto causó bastante preocupación entre los consumidores. Pero en 1980 se experimentó un cambio pronunciado. Se recordará que

Figura 1. Estimación de la producción anual de uranio correspondiente a determinados años entre 1980 y 1990 [2].



Cuadro 4. Concentraciones de uranio en depósitos relativamente poco numerosos [3]

Número de depósitos	Número de depósitos	Valor acumulativo: Reservas (en miles de toneladas)	Valor acumulativo: Porcentaje del total
9	9	982,0	49,5
17	26	1336,3	67,3
60	86	1811,0	91,2
48	134	1985,3	100,0

en ese año el precio en plaza descendió en forma espectacular, las minas en proyectos sufrieron demoras o anulación y las plantas de elaboración se cerraron o funcionaron a capacidad limitada. Estos cambios eran consecuencia directa, como es natural, de las prolongadas demoras de que eran objeto los programas nucleoeléctricos. El resultado fue una mayor incertidumbre respecto de los niveles futuros de la producción uranífera. Las características de la capacidad de producción durante el período 1980–1995, consideradas desde la perspectiva actual, se ilustran en la Figura 1.

Las posibilidades de suministro de las plantas de elaboración actuales se elevan a unas 40 000 toneladas anuales, la mitad de las cuales se produce en los Estados Unidos. En 1985 la oferta de uranio, según prevé el Instituto, se elevará a unas 60 000 toneladas si no se cierran las plantas actuales, ni disminuye su producción. De esta producción total, un 65% correspondería a las plantas actualmente en funcionamiento y un 24% a las que se encuentran en construcción; solo un 10% sería atribuible a las plantas de reelaboración que actualmente se encuentran en la etapa de estudio.

Para 1990 se encontrarán ya en fase de producción muchos de los proyectos actuales. En esa fecha sería posible producir un total de, por lo menos, 82 000 toneladas. En tal caso, el 45% de la oferta

Cuadro 5. Resumen de los depósitos de uranio por países (toneladas (short tons) de U_3O_8) [3]

País	Número de depósitos	Reservas (en miles de toneladas)	Reservas por depósito (en miles de toneladas)
Argelia	1	34,0	34,0
Australia	14	491,7	35,1
Brasil	2	4,0	2,0
Canadá	45	527,3	11,7
Estados Unidos de América	52	315,4	6,0
Francia	3	156,2	52,1
Gabón	5	46,5	9,3
Groenlandia	1	0,1	0,1
Namibia	2	125,0	62,5
Níger	6	273,5	45,6
República Centroafricana	1	10,5	10,5
República Federal de Alemania	2	1,1	0,5
Total	134	1985,3	14,8

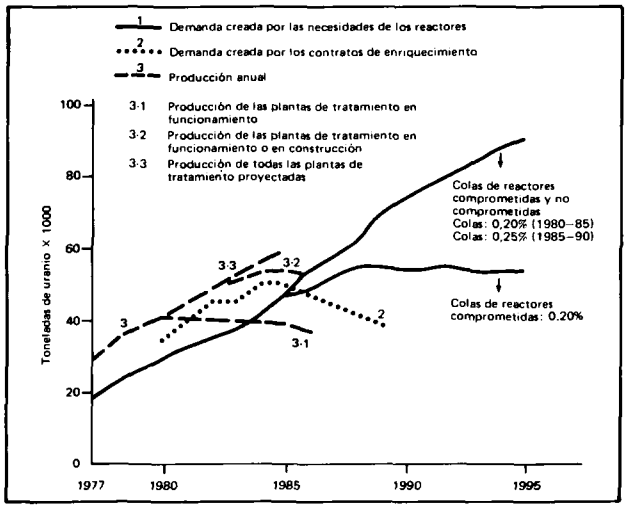
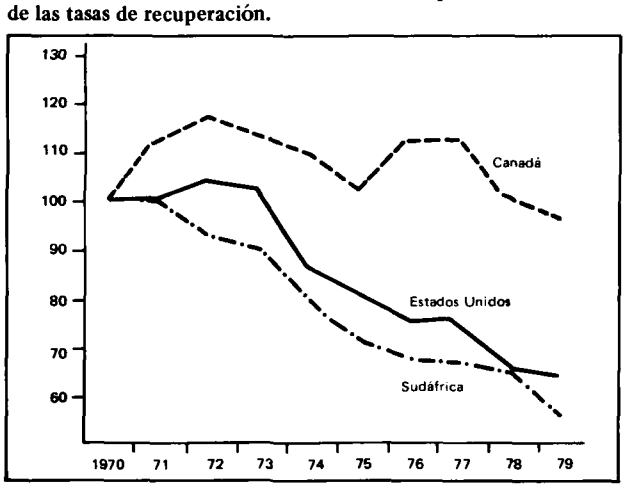


Figura 2. Estimaciones de la oferta y la demanda de uranio [2]. (Anual, 1980–95, 1000 toneladas de uranio.)

provendría de las instalaciones existentes, un 17% de las instalaciones en construcción y el 38% restante de los proyectos actualmente en estudio. Cabe recordar, además, que todavía será preciso demostrar que muchos de esos proyectos son realizables desde los puntos de vista técnico y económico.

La estructura de esta oferta de uranio muestra una gran concentración. Los Cuadros 4 y 5 indican que 17 yacimientos contienen el 67% de las reservas (es decir yacimientos razonablemente seguros y rentables desde el punto de vista económico, que se podían explotar a un precio futuro o inferior a 30 dólares de los Estados Unidos por libra de U_3O_8), y que cuatro países poseen el 81% de esas reservas. Esta concentración, que resulta sorprendente en vista del hecho de que el uranio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, constituye una de las principales causas de las irregularidades de abastecimiento con que puede enfrentarse el mercado de uranio.

Figura 3. Tendencias de la ley promedio de minerales de uranio extraído en 1970–79 [4]. (Indices, 1970 = 100, promedio anual.) las cifras de los Estados Unidos se refieren a ley de minerales en boca de mina transportados a la planta de tratamiento antes de tener en cuenta los cambios en las tasas de recuperación, en tanto que las cifras del Canadá se refieren al mineral después de los cambios de las tasas de recuperación.



Equilibrio de la oferta y la demanda

En la Figura 2 se compara el consumo y la capacidad de producción del uranio según los cálculos del Instituto indicados precedentemente. Hasta 1985 es evidente de que, a pesar de las diversas cancelaciones de contratos de enriquecimiento, la demanda resultante de tales contratos seguirá siendo superior a la determinada por las necesidades de los reactores. Pero, como se podrá observar, de 1980 a 1985, la producción de uranio procedente de las plantas de elaboración explotadas actualmente y en construcción excederán probablemente la demanda de uranio, cualquiera que sea su origen.

Después de 1990, el equilibrio de la oferta y la demanda dependerá en gran medida de las políticas en materia de generación nucleoeléctrica que se encuentren en vigor. La Figura 2 indica también los límites superior e inferior de las necesidades de los reactores basadas en los cálculos del Instituto y en las flexibilidades de las colas de concentración. En lo que al aprovisionamiento se refiere, es posible que las decisiones de construir nuevas instalaciones de tratamiento sufran una fuerte influencia de las decisiones relativas a la reactivación de los programas nucleares.

Análisis del precio del uranio

A menudo se trata de hacer un estudio del mercado del uranio sin entrar en el análisis de la influencia de la tendencia del precio sobre el equilibrio de la oferta y la demanda. Como ya se ha visto, la demanda es relativamente poco sensible a los cambios de precio, tanto más cuanto que el concepto del punto de equilibrio de rentabilidad significa muy poco para la producción energética a partir del uranio. Teóricamente, este costo se relaciona con el precio que el productor de electricidad debería pagar por el uranio a fin de que el costo de la electricidad generada por medios nucleares sea el mismo que el de la producida con medios que supongan un costo inmediato inferior (por lo general, el carbón). Naturalmente, en la práctica – a causa de los plazos tan prolongados necesarios para la construcción de centrales nucleares – tal noción es más útil para evaluar las ventajas económicas de la energía nucleoeléctrica en comparación con el carbón, que para ayudar a la industria y al mercado a equilibrar la oferta y la demanda de uranio.

En lo que al aprovisionamiento se refiere, cabe hacer una distinción entre los productores potenciales y los productores existentes. Estos últimos solo disponen de una capacidad limitada para responder a los cambios del medio ambiente económico. Los principales parámetros que pueden responder a decisiones del personal de gestión son: la ley del mineral extraído, la utilización de la planta de tratamiento y la eficacia de la recuperación de uranio. Ninguno de estos parámetros presenta gran flexibilidad, y si se los utiliza durante un período demasiado prolongado, hasta podrían aparejar consecuencias desfavorables sobre la producción futura. Sin embargo, es significativo que en el pasado se haya manifestado durante las recesiones, una tendencia general alcista del mineral de ley promedio y una tendencia a la baja durante los períodos de recuperación económica.

La curva relativa el Canadá en la Figura 3 es un buen ejemplo de la manera en que el precio del mercado

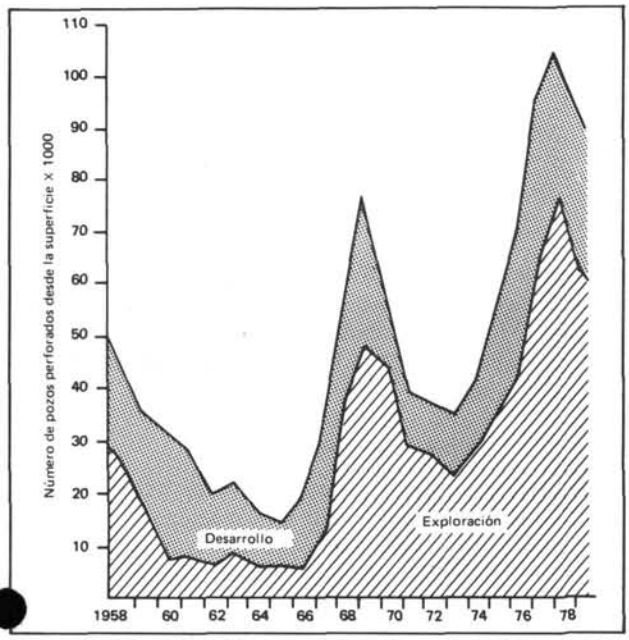


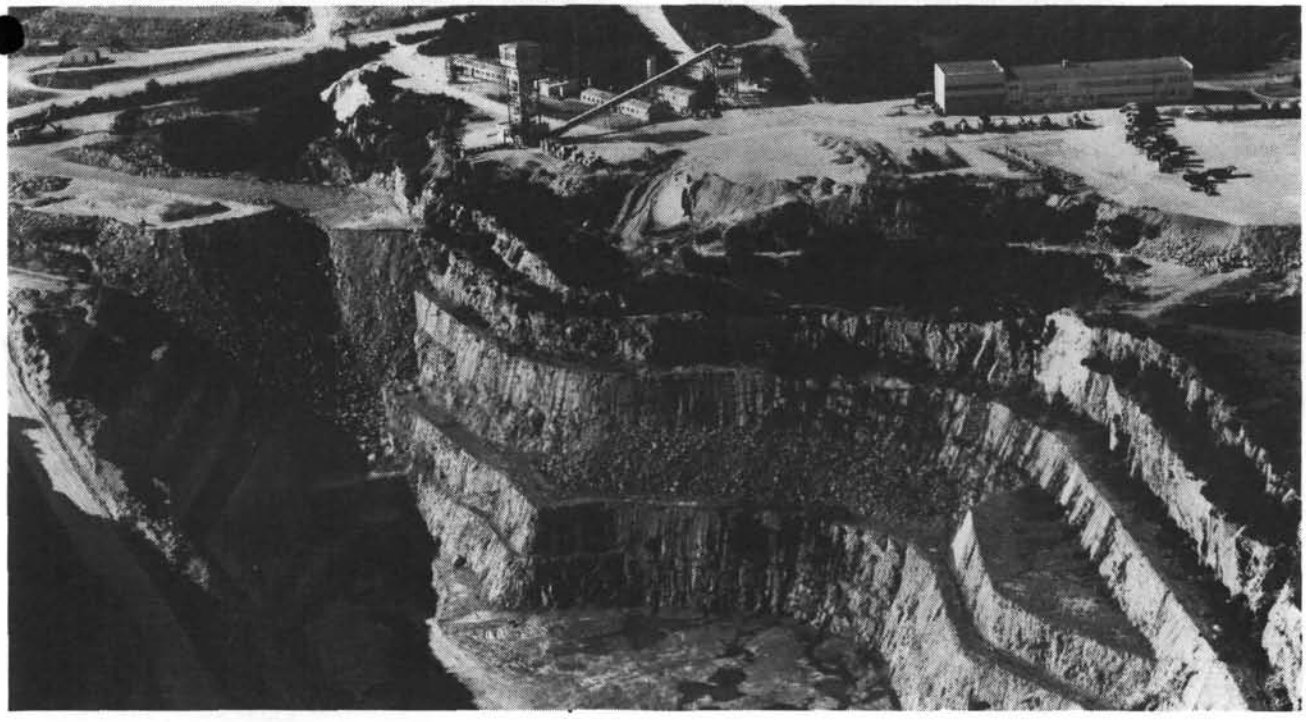
Figura 4. Estadísticas de exploración del uranio en los Estados Unidos [4].

influye sobre la ley del mineral elaborado. Las minas de Elliot Lake extraían mineral de alta ley durante los años de recesión a principios del decenio de 1970. Después, las perspectivas de mejores márgenes de beneficio y mayor demanda estimularon la expansión minera y la extracción de minerales de más baja ley. Excepto en los comienzos de la explotación de los depósitos relativamente ricos de Rabbit Lake, a fines de 1975, esta tendencia hacia una ley promedio baja del mineral extraído se prolongó en Canadá hasta 1979.

La influencia del precio es todavía más importante en lo que se refiere a la exploración de uranio. Como se indica en la Figura 4, la exploración ha tendido, en los Estados Unidos, a seguir las pautas generales de la construcción de reactores. El gráfico representa la historia de 20 años de perforaciones de exploración y de desarrollo en los Estados Unidos, expresada por el número de pozos perforados anualmente desde la superficie, reflejándose claramente las recesiones de la industria a principios de los decenios de 1960 y 1970 y mostrándose los posibles comienzos de otra en 1979.

La ley de los minerales y los gastos de exploración son dos ejemplos de la estrecha vinculación que existe entre la tendencia del precio del uranio y la producción del mismo, tanto real como potencial. Si bien los cambios de precios tengan tal vez repercusiones limitadas sobre las instalaciones de producción existentes, pueden sin embargo hacer desistir a las compañías mineras – que frecuentemente poseen otros intereses además del uranio – de continuar sus inversiones en la prospección de este mineral. Si tal tendencia se mantiene durante cierto tiempo puede conducir a los niveles de exploración sumamente bajos observados a principios de los años 70 con todo lo que tal fenómeno puede significar más tarde para la producción y para la seguridad a largo plazo de aprovisionamiento de combustible para las centrales nucleoeléctricas existentes en todas partes del mundo.

Referencias

[1] *The uranium market and its characteristics* **Jean-Paul Langlois** En: Actas del Tercer simposio internacional del Instituto del Uranio, Mining Journal Books, Londres, Reino Unido (1978).
[2] *The balance of supply and demand: a reassessment* **Philippe Darmayan** En: Actas del Quinto simposio internacional del Instituto del Uranio, Westbury House, Guildford, Reino Unido (1980).
[3] *Reserve/grade relationships by type of uranium deposit: key to strategies for securing future uranium supplies* **Hugh Douglas** En: Actas del Quinto simposio internacional del Instituto del Uranio, Westbury House, Guildford, Reino Unido (1980).
[4] *Economic factors and the uranium market* **Philip Crowson** En: Actas del Quinto simposio internacional del Instituto del Uranio, Westbury House, Guildford, Reino Unido (1980).

Mina a cielo abierto de uranio de la región de la Vendée en Francia.